



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Estudio de las condiciones de proceso para deshidratación de cúrcuma orgánica (*Curcuma longa*) producida en Vichada y su aplicación como colorante natural

Fabian Nicolás Moreno Vaca

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA)
Bogotá, Colombia
2023

Estudio de las condiciones de proceso para deshidratación de cúrcuma orgánica (*Curcuma longa*) producida en Vichada y su aplicación como colorante natural

Fabian Nicolás Moreno Vaca

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Director (a):

Ph.D. Amanda Consuelo Díaz Moreno

Línea de Investigación:

Aseguramiento y análisis de la calidad de alimentos

Grupo de Investigación:

BIOALIMENTOS

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2023

(Dedicatoria o lema)

A mi hermano, a mi madre y a mi padre

Agradecimientos

A mi familia, por el gran apoyo emocional y económico, son personas muy racionales y queridas, que nunca me abandonaron.

A mi directora, Amanda Consuelo, por su paciencia, dedicación y orientación; a los docentes Carlos Alberto Fuenmayor y Carlos Mario Zuluaga, dos excelentes docentes que siempre dispusieron de tiempo y herramientas para el desarrollo académico, profesional y personal.

Al Dr. Paolo Lugari, quien desde La Fundación Centro Las Gaviotas en el departamento de Vichada impulsó el desarrollo de este proyecto.

Al ICTA, especialmente al laboratorio de Bromatología, a la planta de vegetales y a sus funcionarios.

A mis amigos de maestría, Edna Juliana, Erika Tatiana, María Cristina, Maria E, Lady Paola, Juan Ramón, Anayancy Vergara, Adriana Rada, Santiago Martínez y Ernesto Caballero, quienes hicieron de este periodo un tránsito ameno, nutritivo y sobre todo con muchas risas.

A mis grandes amigos Nicolas Blanco y Alvaro Javier, quienes siempre estuvieron pendientes de mi desarrollo, y contribuyeron a mantener una motivación.

Finalmente, a cada una de las personas que de alguna u otra manera contribuyó al desarrollo de este proyecto.

Resumen

Estudio de las condiciones de proceso para deshidratación de cúrcuma orgánica (*Curcuma longa*) producida en Vichada y su aplicación como colorante natural

La cúrcuma es un importante colorante amarillo-naranja natural en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria, característica atribuida a una molécula denominada curcumina (CUR), la cual, aparte de conferir características pigmentarias, tiene un potencial funcional, debido a su actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana, derivada adicionalmente de otros componentes bioactivos como los curcuminoides, los compuestos polifenólicos y los terpenoides. En este trabajo se evaluaron los efectos de operaciones de adecuación, deshidratación y molienda sobre la calidad fisicoquímica y actividad biológica del polvo de cúrcuma, tomando rizomas frescos orgánicos provenientes del departamento de Vichada (Colombia), y aplicando distintas condiciones de proceso, variando tiempos de escaldado con vapor (0, 8, 15, y 30 min), y realizando el proceso de secado por aire caliente a temperaturas de 50, 60 y 70°C, posteriormente y luego de alcanzar humedades entre 9.93 ± 0.12 y $11.91 \pm 1.07\%$ las muestras fueron molidas a un tamaño de partícula malla 100 (0.149 mm). El contenido de curcumina y compuestos fenólicos fueron caracterizados por medio de métodos espectrofotométricos UV-VIS, encontrando variaciones entre 6.20 ± 0.83 - $7.40 \pm 0.23\%$ y 45.06 ± 4.94 - 54.81 ± 2.05 mg Eq. A.G/ g de muestra, respectivamente, según la combinación de las operaciones de procesamiento, así como una reducción de hasta del 31.86% en el contenido de curcumina como efecto del secado, una reducción del 34.31% luego de un proceso de horneado en una matriz de panificación y una disminución adicional del 4.6% luego de 12 días de almacenamiento en anaquel.

Palabras clave: *Curcuma longa*, capacidad antioxidante, curcumina, colorante natural, componentes bioactivos.

Abstract

Study on the process conditions for dehydration of organic turmeric (*Curcuma longa*) produced in Vichada and its application as a natural colorant

Turmeric is an important natural yellow-orange dye in the pharmaceutical, cosmetic and food industry, a characteristic attributed to a molecule called curcumin (CUR), which, apart from conferring pigmentary characteristics, has functional potential, due to its antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial activity, which are additionally derived from other bioactive components such as curcuminoids, polyphenolic compounds and terpenoids. In this work, the effects of pretreatments, dehydration and grinding operations on the physicochemical quality and biological activity of turmeric powder were evaluated, taking fresh organic rhizomes from the department of Vichada (Colombia), and applying different process conditions, varying blanching with steam (0, 8, 15, and 30 min), and carrying out the drying process by hot air at temperatures of 50, 60 and 70°C, later and after reaching humidity between 9.93 ± 0.12 and $11.91 \pm 1.07\%$ samples were ground to a particle size of 100 mesh (0.149 mm). The content of curcumin and phenolic compounds were characterized by UV-VIS spectrophotometric methods, finding variations between 6.20 ± 0.83 - $7.40 \pm 0.23\%$ and 45.06 ± 4.94 - 54.81 ± 2.05 mg Eq. A.G/ g of sample, respectively, depending on the combination of processing operations, as well as a reduction of up to 31.6% in curcumin content as an effect of drying, a reduction of 34.31% after a baking process in a baking matrix and an additional reduction of 4.6 after storing for 12 days.

Keywords: *Curcuma longa*, antioxidant capacity, curcumin, natural colorant, bioactive compound.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XIV
Lista de símbolos y abreviaturas.....	XV
Introducción	1
Objetivos.....	4
Objetivo general.....	4
1. Capítulo 1 – La cúrcuma como colorante natural	5
1.1 Introducción.....	5
1.2 Botánica de la cúrcuma.....	6
1.3 Composición fisicoquímica	6
1.3.1 Componentes bioactivos	9
1.4 Actividad biológica <i>in vitro</i>	17
1.4.1 Actividad antioxidante.....	17
1.4.2 Actividad antiinflamatoria	18
1.4.3 Actividad antimicrobiana	19
1.4.4 Biodisponibilidad.....	20
1.5 Etapas del procesamiento	20
1.5.1 Limpieza y desinfección	23
1.5.2 Tratamiento térmico previo.....	23
1.5.3 Laminado	24
1.5.4 Secado.....	24
1.5.5 Remoción de la corteza.....	27
1.5.6 Molienda	27
1.5.7 Almacenamiento.....	29
1.6 Conclusiones parciales	31
2. Capítulo 2 – La cúrcuma, procesamiento y calidad	32
2.1 Introducción.....	32
2.2 Materiales y métodos.....	33
2.3 Resultados y discusión	42
2.3.1 Criterios de selección de un tratamiento y comportamiento de distintos parámetros fisicoquímicos a través del secado.....	57

2.4	Conclusiones.....	61
3.	Capítulo 3 – Colorantes amarillos	63
3.1	Introducción.....	63
3.2	Materiales y métodos.....	67
3.3	Resultados y discusión	69
3.4	Conclusiones.....	81
4.	Conclusiones y recomendaciones	83
4.1	Conclusiones.....	83
4.2	Recomendaciones	84
	Bibliografía	85

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Estructura química de curcuminoides; Curcumina (C), Demetoxicurcumina (DMC) y <i>Bisdemetoxicurcumina</i> (BDMC).	11
Figura 1-2: Ingesta recomendada, toxicidad y funcionalidad de la curcumina.....	13
Figura 1-3: Principales aceites esenciales presentes en la variedad <i>Curcuma longa</i>	15
Figura 1-4: Diagrama de flujo procesamiento para escaldar, secar y disminuir tamaño de partícula en rizomas de cúrcuma	22
Figura 2-1: Proceso de extracción de componentes bioactivos en el polvo de cúrcuma.	39
Figura 2-2: Curva de secado de rizomas laminados de cúrcuma a 50°C, con pretratamientos térmicos de escaldado con vapor por 8, 15, 30 min y sin tratamiento	44
Figura 2-3: Curva de secado de rizomas laminados de cúrcuma a 60°C, con pretratamientos térmicos de escaldado con vapor por 8, 15, 30 min y sin tratamiento	44
Figura 2-4: Curva de secado de rizomas laminados de cúrcuma a 70°C, con pretratamientos térmicos de escaldado con vapor por 8, 15, 30 min y sin tratamiento	45
Figura 2-5: Aspecto físico de las muestras del polvo de cúrcuma según los pretratamientos y las temperaturas de secado	49
Figura 2-6: Comparación de contenido de curcumina en rizomas de cúrcuma orgánica provenientes de Vichada según las distintas condiciones de procesamiento.	51
Figura 2-7: Comparación de contenido de compuestos fenólicos totales en rizomas de cúrcuma orgánica provenientes de Vichada según las distintas condiciones de procesamiento.	54
Figura 2-8: Modelamiento del comportamiento de pérdida de masa a través del secado	57
Figura 2-9: Cambios en la concentración de Curcumina (CUR) y Compuestos Fenólicos Totales (CFT) en rizomas de cúrcuma a través del secado	58
Figura 2-10: Cambios en la respuesta de métodos de capacidad antioxidante (DPPH, FRAP, TEAC) en rizomas de cúrcuma a través del secado.....	60
Figura 3-1: Aspecto físico de las masas según los tratamientos.....	71
Figura 3-2: Aspecto físico de las muestras según los tratamientos a través del tiempo	75
Figura 3-3: Comportamiento de componentes bioactivos del tratamiento con inclusión de curcumina a través del tiempo de almacenamiento.....	80

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Composición química para la variedad <i>Curcuma longa</i>	8
Tabla 1-2: Componentes bioactivos y actividad antioxidante para la variedad <i>Curcuma longa</i>	16
Tabla 1-3: Impacto del procesamiento sobre el contenido de curcumina (CUR)	30
Tabla 2-1: Diseño experimental para evaluación de operaciones de acondicionamiento de rizomas de cúrcuma	34
Tabla 2-2: Contenido de humedad y actividad de agua según los distintos tratamientos	42
Tabla 2-3: Composición proximal del polvo de cúrcuma orgánica proveniente del departamento de Vichada, Colombia.	46
Tabla 2-4: Coordenadas colorimétricas en el espacio CIE L*a*b* según los tratamientos y pretratamientos	48
Tabla 2-5: Componentes bioactivos en muestras comerciales de cúrcuma en polvo..	52
Tabla 2-6: Impacto en respuesta de capacidad antioxidante según las condiciones de procesamiento y las muestras de referencia	55
Tabla 3-1: Composición proximal de las muestras según los tratamientos.....	69
Tabla 3-2: Comportamiento de los parámetros de humedad, actividad de agua y pH durante el almacenamiento a temperatura ambiente y según los tratamientos.....	70
Tabla 3-4: Coordenadas colorimétricas en el espacio CIE L*a*b* para las masas según el tratamiento	71
Tabla 3-3: Coordenadas colorimétricas y cambios de color en el pan según el tiempo de almacenamiento y tratamiento	73
Tabla 3-5: Análisis del perfil de textura de las muestras de pan a según el tratamiento y a través del tiempo.....	77
Tabla 3-6: Componentes bioactivos en muestra de pan de cúrcuma a través del tiempo de almacenamiento.....	79

Lista de símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>ABTS</i>	(2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)
<i>ADI</i>	Aceptabilidad de Ingesta Diaria
<i>AGE</i>	Productos finales de glicación avanzada
<i>AOAC</i>	Association of Official Agricultural Chemists
<i>Aw</i>	Actividad de agua
<i>BDMC</i>	Bisdemetoxicurcumina
<i>Bs</i>	Base seca
<i>Bh</i>	Base húmeda
<i>CODEX</i>	Codex Alimentarius
<i>COX-2</i>	Ciclooxigenasa-2
<i>CUR</i>	Curcumina
<i>CFT</i>	Compuestos fenólicos totales
<i>DMC</i>	Demetoxicurcumina
<i>DPPH</i>	Radical 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl
<i>EFSA</i>	European Food Authority
<i>Eq</i>	Equivalentes
<i>FDA</i>	Food and Drug Administration
<i>FRAP</i>	Ferric Reducing Antioxidant Power
<i>GHS</i>	Glutación peroxidasa
<i>GRAS</i>	Generally Recognized as Safe
<i>HHC</i>	Hexahidrocurcumina
<i>iNOS</i>	Deficiencia inducible de óxido nítrico sintasa
<i>JAK</i>	Janus Kinase
<i>OCH</i>	Octahidrocurcumina
<i>ROS</i>	Oxígeno reactivo
<i>SOD</i>	Superóxido dismutasa
<i>THC</i>	Tetrahidrocurcumina
<i>TPTZ</i>	2,3,5-Triphenyltetrazolium chloride
<i>WHO</i>	World Health Organization

Introducción

La *Curcuma longa* es una planta herbácea perenal, perteneciente a la familia *Zingiberaceae*, proveniente del sur de Asia, y producida extensivamente en climas subtropicales, montañosos, de países del sudeste asiático, como India, Bangladesh, China, Tailandia, Camboya, Malasia, Filipinas e Indonesia (Chumroenphat et al., 2021; Ray et al., 2022); y que sugiere importancia debido a las características funcionales que se le atribuyen con efectos farmacológicos, así como su aporte tecnológico en la industria alimentaria, cosmética, textil y medicinal tradicional, resaltando su participación dentro de la industria alimentaria como especia, suplemento, o aditivo (Choi et al., 2019; Komonsing, Khuwijtjaru, et al., 2022).

El mercado de la cúrcuma para el año 2020 a nivel mundial, representó un movimiento cercano a los 40.000 millones de dólares, situando a India y otros países del continente asiático como los mayores productores, exportadores y consumidores del producto, particularmente y en el caso de India, quien logra producir más de 25 millones de toneladas por año en extensiones cercanas a las 180.000 hectáreas (Chumroenphat et al., 2021; de Oliveira Filho et al., 2021).

La demanda de la cúrcuma entonces no solo está basada en función de su capacidad colorante, sino que predominan los intereses farmacológicos, ubicando su capacidad colorante dentro de la industria alimentaria, como el segundo mayor demandante y finalmente la industria cosmética, como otro gran nicho de mercado (Sharifi-Rad et al., 2020); por lo que, el valor de la cúrcuma no necesariamente está orientado según su región de origen, sino sobre la concentración de curcumina, la cual puede variar según las condiciones geográficas, botánicas, prácticas de producción, procesamiento y almacenamiento, siendo etapas capaces de repercutir sobre factores como la calidad microbiológica, composición fitoquímica y su coloración (Nguyen Thi et al., 2021; Pal et al., 2020).

Frente a la demanda en alimentos, colorantes naturales y en general los aditivos usados en esta industria resultan preferentes para consumidores cuya conciencia es exponencial frente a impactos a la salud, prefiriendo entonces aditivos, colorantes y saborizantes de origen vegetal sobre productos sintéticos económicos (Das & Sharangi, 2018), sin embargo y para el caso de la pigmentación amarillenta, la industria de alimentos a pesar de la evidencia en estudios clínicos sobre el impacto sobre la salud relacionado con la ingesta de colorantes sintéticos como la tartrazina, sigue siendo importante debido a su costo, estabilidad en el tiempo, independencia agrícola y percepción sensorial (Ntrallou et al., 2020; Perez et al., 2022)

Por lo que, y aunque gran parte del colorante amarillo natural curcumina sea importado en Colombia, el país dispone de una posición geográfica de subtropical propicia para su producción, abriendo la posibilidad de incursionar con un producto capaz de satisfacer los requerimientos y demanda de la industria alimentaria; desde El Centro Fundación Las Gaviotas, ubicado en el departamento de Vichada, surge la necesidad de determinar una serie de procedimientos y tratamientos, en función de la favorabilidad y calidad de producción de polvo de cúrcuma. El propósito de este trabajo consistió en evaluar el impacto de aplicación de distintas operaciones de acondicionamiento y tratamientos de secado, y su influencia sobre parámetros de calidad del polvo de cúrcuma como el color, componentes bioactivos y estabilidad luego de inclusión.

Entonces, ¿Cuáles son las operaciones de acondicionamiento y deshidratación de cúrcuma orgánica que favorecen la presencia de sus componentes bioactivos, y cómo influyen los pretratamientos sobre sus características fisicoquímicas?

Figura 1: Ubicación geográfica Fundación Centro Las Gaviotas

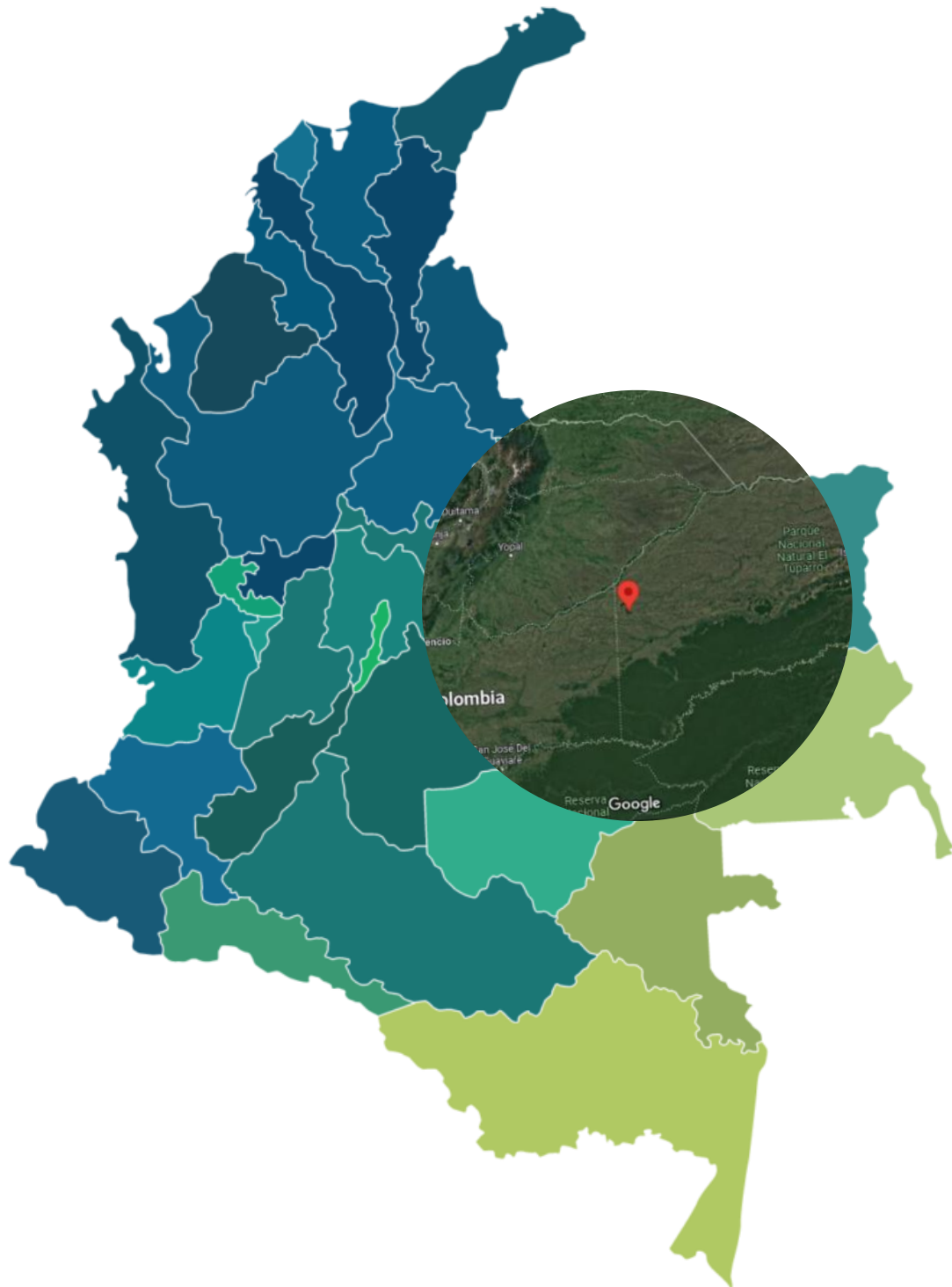


Imagen tomada de (Las Gaviotas - Google Maps; Mapa de Colombia y departamentos)

Objetivos

Objetivo general

Evaluar condiciones de acondicionamiento, deshidratación y molienda de cúrcuma orgánica (*Curcuma longa*) producida en Vichada y su aplicación como colorante natural en un producto de panificación.

Objetivos específicos

- Evaluar operaciones de acondicionamiento, deshidratación y molienda del rizoma de cúrcuma orgánica.
- Analizar parámetros fisicoquímicos y bioactivos durante el proceso de transformación de cúrcuma, factores de composición y calidad.
- Determinar la estabilidad del potencial colorante del polvo de cúrcuma en un producto de panificación.

1. Capítulo 1 – La cúrcuma como colorante natural

1.1 Introducción

La cúrcuma refiere a un rizoma con alrededor de 110 variedades clasificadas bajo la misma denominación (*Curcuma*), de forma oblonga, ovalada, piriforme y ramificada, de la familia de las *Zingiberaceas*, cultivada en regiones cálidas y lluviosas del mundo como China, India, Indonesia, Jamaica y Perú, sugiriendo importancia económica en Malasia, India e Indonesia, sin embargo, y aunque su enfoque medicinal se venga abordando desde hace 4000 años en la cultura Védica, en India (Salehi et al., 2019) fue solo a partir de 1970 que se despertó su interés moderno, debido a su alcance farmacológico, atribuido a su fitoquímico mayoritario, la curcumina (Jayaprakasha et al., 2005; Kocaadam & Şanlier, 2017).

En las últimas tres décadas, estudios han mostrado el efecto terapéutico de la curcumina contra enfermedades autoinmunes, metabólicas, neurológicas, cardiovasculares, intestinales, de hígado y una amplia variedad de síntomas inflamatorios, así como la capacidad de generar efectos de carácter preventivo frente a patogénesis (Kocaadam & Şanlier, 2017), consolidándolo como uno de los enfoques con mayor demanda, y sobre macromoléculas específicas como los curcuminoides, fenilpropanoides, flavonoides, esteroides y aceites volátiles, despertando intriga en el tamaño de la fracción presente, aunque esté ligado a condiciones biológicas como el órgano de la planta, ubicación geográfica, tipo de suelo, clima, y etapa de madurez del rizoma, así como las prácticas postcosecha, procesamiento, almacenamiento y método de extracción (Ray et al., 2022).

1.2 Botánica de la cúrcuma

Abordando su clasificación taxonómica, la cúrcuma pertenece al reino: *Plantae*; superdivisión: *Spermatophyta*; División: *Magnoliophyta*; Subclase: *Zingiberidae*; Orden: *Zingiberales*; Familia: *Zingiberaceae*; Género: *Curcuma*; Especie: *longa*; Nombre científico: *Curcuma longa*, llegando a generar diferencias de sus análogos, principalmente sobre su composición bioactiva (Chanda, 2019). La planta de cúrcuma, comprende una hierba perennial erecta, capaz de alcanzar hasta 120 cm de altura, el rizoma se encuentra bajo la planta, y puede ser clasificado en 2, la parte superior o central, es llamada rizoma madre, y puede llegar a medir de 2 a 3 cm de diámetro, mientras que sus componentes laterales son conocidos como dedos, contenidos en grupo alrededor del rizoma madre y llegando a contener entre 7 y 12 dedos, de 2 cm de longitud aproximada y de 1 a 2 cm de diámetro (Nair, 2019).

Uno de los subproductos más populares es la oleorresina, el cual comprende un extracto orgánico de tonalidad naranja- rojiza, obtenido por medio de un solvente orgánico como acetona, etileno dicloruro, o etanol, de los cuales no deben quedar trazas superiores a las 50 ppm, llevando a cabo evaporaciones entre 45 y 55°C, congelamientos, centrifugados o filtraciones de vacío; la oleorresina, puede alcanzar concentraciones de curcuminoides entre el 30 y 45%, así como aceites volátiles cercanos a 15 y 20%, de los cuales, es posible identificar turmeron en un 60%, 25% zingibereno y pequeñas cuantías de felandreno, sabineno, cineol y farnesol, siendo de alta demanda en la industria para matrices en donde no se desee la presencia de aromas característicos asociados a la cúrcuma (Anne, 2004; Nair, 2019).

1.3 Composición fisicoquímica

La cúrcuma resulta es un rizoma rico en fitoquímicos, vitaminas, aminoácidos, minerales y metabolitos secundarios, siendo este factor multicomponente, quienes son capaces de conferir eficacia en su actividad farmacológica (Henry et al., 2020), sin embargo, esta composición no solo está determinada por factores biológicos y geográficos en general, sino también por condiciones de suelo, de crecimiento y madurez de la planta, permitiendo que parte de sus componentes fitoquímicos se desarrollen en menor o mayor proporción, sumado a que la distribución de estos componentes no se encuentra de manera exclusiva

sobre el rizoma, sino que también pueden estar distribuidos a través del epicarpio (de Oliveira Filho et al., 2021)

Según se ilustra en la tabla 1-1, es posible comparar distintas muestras de cúrcuma, considerando rizomas nacionales (colombianos) cultivados de manera orgánica y con fertilizantes, hasta muestras provenientes de India, que según la región también implican una diferencia en su composición, incluso partiendo de una misma variedad, *Curcuma Longa*.

Finalmente, y dentro de la complejidad del perfil lipídico de la cúrcuma, se han identificado distintos ácidos grasos monoinsaturados como ácido oleico (56.24 – 58.88%) el cual comprende el principal componente de la fracción lipídica del rizoma, seguido por el ácido linoleico (10.90 – 12.82%), α -linoleico (4.15 – 5.46%), y ácidos eicosanoides (2.72-3.25); sin embargo, también es posible identificar fracciones saturadas, registrando ácidos grasos como el ácido mirístico (16.25 – 17.71%) y ácido palmítico (5.59 – 6.00%) con participación relativamente significativa (de Oliveira Filho et al., 2021).

Tabla 1-1: Composición química para la variedad *Curcuma longa*

Parámetro	Composición química							
	Según su ubicación geográfica, suelo y grado de procesamiento							
Muestra	Fresca	Polvo	Polvo	Polvo	Polvo	Polvo	Polvo	Polvo
Humedad (%)	84,73 ± 2,9	11,2 ± 0,1	9,0 ± 0,1	9,3	9.55 ± 1.20	8.00 ± 0.02	9.30 ± 0.01	7.83 - 44.38
Cenizas (%)	3,90 ± 1.07	7,7 ± 0,2	9,2 ± 0,2	2,56	24.70 ± 1.56	8.50 ± 0.03	5.91 ± 0.03	1.84 - 13.5
Proteína (%)		8,3 ± 0,53	8,9 ± 0,53	9,32	2.15 ± 0.07	10.7 ± 0.03	12.2 ± 0.2	2.03 - 39.50
Grasa (%)	0,051 ± 0,02	0,9 ± 0,11	3,4 ± 0,11	5,9	5.32 ± 1.23	5.1 ± 0.2	3.4 ± 0.5	0.91 - 8.09
Fibra (%)	11,88 ± 1,05	6,8 ± 2,1	4,9 ± 2,1	4,3	1.12 ± 0.03	3 ± 1	1.6 ± 0.4	2.60 - 35.60
Carbohidratos (%)		72 ± 1,8	70 ± 1,8	68,58	57.30 ± 1.69	19 ± 4	34 ± 1	9.83 - 67.38
Calcio (%)		0,11 ± 0,01	0,40 ± 0,01		3,80			0.2
Fósforo (%)		0,33 ± 0,03	0,45 ± 0,03					0.26
Magnesio (%)		0,16 ± 0,01	0,28 ± 0,001		1.97			
Potasio (%)		2,7 ± 0,13	3,8 ± 0,13		0.92			2.5
Hierro (ppm)		141 ± 2,3	225 ± 2,3	28,0	0.708			475.0
Zinc (ppm)		22,0 ± 0,43	27,8 ± 0,43	2,0				
Sodio (ppm)		199 ± 1,8	118 ± 1,8	24	7.060			
Origen	Quindío	Magdalena	Valle del Cauca	Nigeria	No especificado	Brasil	Brasil	No especificado
Suelo	Convencional	Convencional	Agroecológico	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional
Referencia	(Ríos-V et al., 2009)	(Restrepo-Osorio et al., 2020)		(Ajenu et al., 2021)	(Henry et al., 2020)	(Braga et al., 2003)		(de Oliveira Filho et al., 2021)

1.3.1 Componentes bioactivos

Alrededor de este rizoma, se han identificado cerca de 719 componentes bioactivos, en 32 variedades distintas, incluyendo terpenoides, flavonoides, derivados de fenilpropanos, alcaloides, saponinas, entre otros componentes (Abdulrashid et al., 2019) para la variedad *Curcuma longa*. Además de los curcuminoides, se destaca la presencia de alrededor de 235 fitoquímicos que en su mayoría identificados como compuestos polifenólicos y terpenoides, de los cuales 109 son sesquiterpenos, 68 monoterpenos, 22 diarilheptanoides, 8 fenólicos, 5 diterpenos, 4 esteroides, 3 triterpenoides, 2 alcaloides y 14 de ellos entran dentro de la clasificación otros constituyentes (Fuloria et al., 2022); en cuanto a los flavonoides, se han identificado algunos con mayor persistencia como las quercetinas, kaempferoles, rutinas, apigeninas y miricetinas (Abdulrashid et al., 2019) así como el curcumenol, zingibereno, curcumol, eugenol, tetrahidrocurcumina, trietilcurcumina, turmerina, turmerones y turmeronoles (Kabak & Dobson, 2016).

Estos componentes sugieren interés en la comunidad científica al ser capaces de combatir dos enfermedades comunes causantes de muerte en los humanos, las cardiovasculares y el cáncer, ofreciendo efectos quimiopreventivos y potencialmente quimioterapéuticos para el caso de la segunda (R. Sharma et al., 2005). Gran parte de la actividad farmacológica de la cúrcuma se le atribuye a la curcumina, como principal componente dentro de los curcuminoides (curcumina, demetoxicurcumina y bisdemetoxicurcumina), sin embargo, también ha sido posible identificar distintos metabolitos de esta sustancia, y que resultan de interés como dihidrocurcumina, tetrahidrocurcumina (THC), octahidrocurcumina (OCH), hexahidrocurcumina (HHC), curcumina glucuronida, y sulfato de curcumina (Kocaadam & Şanlıer, 2017).

Compuestos polifenólicos

Uno de los constituyentes de mayor interés son los compuestos polifenólicos identificados mayoritariamente como curcuminoides y flavonoides, sin embargo, y considerando la cantidad de variedades, el contenido de polifenoles es dinámico dentro de la misma especie (Akter et al., 2019) llegando a identificar más de 300 compuestos diferentes clasificados como diarilheptanoides (Li, 2011) y reportados previamente por (Chumroenphat et al., 2021; Hirko et al., 2020; Komonsing, Reyer, et al., 2022; Yang et al.,

2020), como ácido gálico, curcumina, ácido ferúlico, epicatequina, catequina, ácido cinámico, ácido clorogénico, genisteína y cumarina.

▪ **Curcuminoides**

Alrededor de las clases de difenilalcaloides en el género *Curcuma*, es posible mencionar dos de ellos, difenilheptanoides y difenilpentanoides, destacando los primeros como el grupo de mayor concentración dentro del género, llegando a registrar la presencia de al menos 20 de estos compuestos en 8 distintas variedades. Los difenilheptanoides en su mayoría referidos también como curcuminoides, comprenden una serie de moléculas originadas biológicamente dentro de la composición de la cúrcuma, sin embargo, no están presentes en todas las variedades *Curcuma* (Ravindran et al., 2007).

La concentración de curcuminoides oscila entre 3 – 15% (Li, 2011), aunque distintos autores reportan menores concentraciones (entre 2.1 y 3.6%) según muestra la figura 1-2; asimismo, y para el caso de rizomas frescos, el rango de composición puede estar entre 0.3 y 5,4% (Jayaprakasha et al., 2005) sin embargo, la presencia de este grupo de moléculas puede variar según la variedad, ubicación geográfica, prácticas de cultivo y condiciones de procesamiento (Ibáñez & Blázquez, 2020); los curcuminoides suelen estar presentes y fraccionados a su vez, en tres distintos compuestos, la curcumina (CUR) la demethoxicurcumina (DMC) y la bisdemetoxicurcumina (BDMC), representando la curcumina una proporción de composición entre 75 – 81%, DMC entre 15 y 19%, y BDMC entre 2.2 y 6.6% dentro de la totalidad de curcuminoides (Fuloria et al., 2022; Green et al., 2008; Jayaprakasha et al., 2005).

Refiriendo a la curcumina como el componente mayoritario dentro de los curcuminoides, es un bis- α , β -insaturado β -dicetona, que predomina su forma de bis-keto en soluciones acuosas ácidas neutrales y en la membrana de la célula; inestable en pH básicos, siendo capaz de degradarse en un lapso de 30 min, hasta transformarse en distintas sustancias como ácido ferúlico, feruloilmetano, y vanillina, por lo que la adición de antioxidantes como ácido ascórbico, N-acetilcistina o glutatión, puede bloquear esta degradación en el medio básico; mientras que su degradación en medios ácidos puede ser relativamente más lenta, degradando el 20% de la curcumina en un lapso de 60 min, sin embargo, distintos estudios afirman que estos productos de degradación pueden poseer propiedades antimicrobianas, antiarrítmicas, antitrombóticas, anticancerígenas y antioxidantes (Racz et al., 2022).

DMC como BDMC, poseen una actividad biológica similar a CUR, repercutiendo sobre actividad inflamatoria y sobre la reducción de productos finales de la glicosilación (AGEs) originados de distintos tipos de oxígeno reactivo, así como el incremento de AGEs por medio de la supresión de la actividad de la superóxido dismutasa y el componente malondialdehído, en la superficie de la cultura celular, generando protección en contra de AGEs originados en la apoptosis, sugiriendo así protección contra la diabetes neuropática (Kocaadam & Şanlıer, 2017).

Los curcuminoides no resultan en sustancias volátiles y comprenden los principales componentes bioactivos en la cúrcuma, el punto de fusión de la curcumina es 184°C y se estiman pérdidas de curcuminoides por el procesamiento entre un 27 y 53%, siendo la curcumina la molécula más inestable, mientras que bisdemetoxicurcumina es la más estable (Nair, 2019).

Figura 1-1: Estructura química de curcuminoides; Curcumina (C), Demetoxicurcumina (DMC) y Bisdemetoxicurcumina (BDMC).

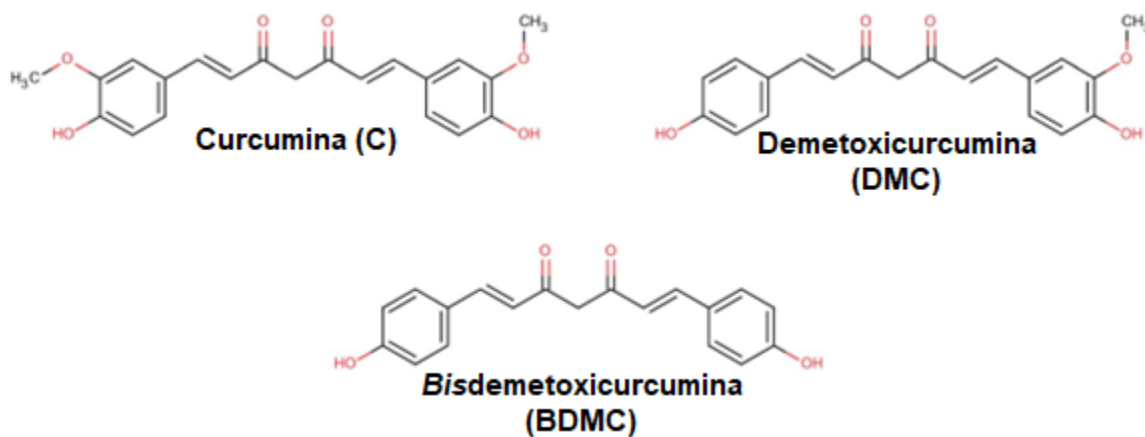


Imagen tomada de “Separation and identification of curcuminoids in turmeric powder by HPLC using phenyl column” (Ali et al., 2014).

- **Aspectos importantes de la curcumina**

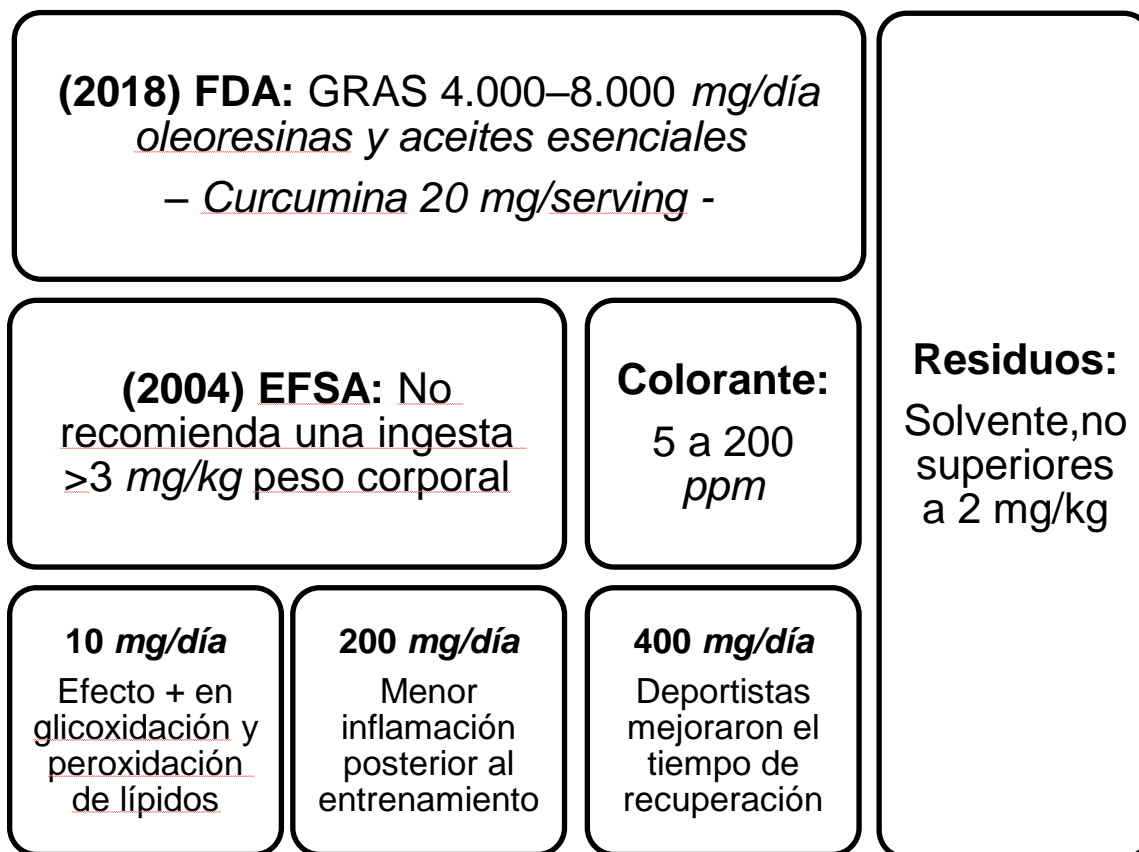
En cuanto a la seguridad de consumo y rangos seguros de ingesta, la curcumina es autorizada por el CODEX como agente colorante (INS No. 100(i)) (Komonsing, Khuwijitjaru, et al., 2022), debido a distintos estudios en toxicidad, en 2018 la entidad competente para el control de alimentos y medicamentos en Estados Unidos, US Food and Drug

Administration (FDA) aprobó la curcumina como “Generally Recognized as Safe” (GRAS), con dosis desde los 4.000 y hasta 8.000 mg/día, luego de que y para el año 2004, la autoridad competente para control de alimentos en Europa, European Food Safety Authority (EFSA) recomendara un consumo diario de 0.3 mg/kg de peso corporal (Hewlings & Kalman, 2017), sumado a los reportes de (Nair, 2019), quien afirmó que la curcumina posee de baja aceptabilidad de ingesta diaria (ADI) de 0 a 1.0 mg/kg de peso corporal/día.

Mientras que (Sharifi-Rad et al., 2020) menciona que dosis hasta de 8 g de curcumina por día tanto en humanos como en animales, sigue siendo seguro para el consumo, según muestra la figura 1-2, mientras que dosis superiores a este valor pueden generar intolerancia, así como dosis tan altas como 100 mg/kg de peso corporal generan efectos ulcero génicos (Cheng et al., 2001)

En materia de estudios en toxicología, (National Toxicology Program, 1993) alimentó ratas con dietas que contenían extractos de cúrcuma con dosis desde 1.000 y hasta 50.000 mg/mL, equivalentes a 50 y 2.600 mg/kg peso corporal, en un tiempo de dos años, encontrando, que no genera mortalidad, mientras que si puede ser potencial desarrollador de úlceras, inflamación crónica activa, e hiperplasia, sumado a lo reportado por (Kandarkar et al., 1998), quien descubrió que en cuestión de 14 días con concentraciones de hasta el 5% de polvo de cúrcuma en la dieta causó hepatotoxicidad en ratas

Por lo que, la figura 1-2 muestra aspectos generales frente a las recomendaciones de ingesta diaria emitidas por la FDA y EFSA, la proporción convencional usada con fines colorantes, distintos reportes capaces de reflejar los efectos benéficos del consumo según las concentraciones y finalmente la máxima cantidad de solvente residual por kg de muestra recomendado

Figura 1-2: Ingesta recomendada, toxicidad y funcionalidad de la curcumina

Datos tomados y adaptados de (Nair, 2019; Sharifi-Rad et al., 2020)

▪ Terpenoides

Comprenden el componente mayoritario dentro de los aceites esenciales de la cúrcuma, así como uno de los de mayor interés, sin embargo, y debido a la actividad biológica que han demostrado los curcuminoides, no han recibido mayor atención en el pasado (Meng et al., 2018). Los terpenoides presentes en las especies de *Curcuma* son moléculas equivalentes de actividad biológica, que pueden actuar solas o sinérgicamente con los curcuminoides (Afzal et al., 2013).

Los aceites como componentes del rizoma comprenden fracciones cercanas al 3 - 5%, dentro de los cuales, cerca del 60% es tumeron, 25% zingiberene y pequeñas cantidades de d-phellandrene, d-sabinene, cineole y forneol, aportando su componente aromático (Sasikumar, 2012), sin embargo, (Nair, 2019) registró variaciones en la concentración, considerando solo variedad *C. longa*, reportando rendimientos que pueden oscilar entre

1,5 y 3,0%, mientras que en otras variedades puede aumentar esta fracción, pero disminuyen significativamente la cantidad de curcuminoides. Este grupo de aceites volátiles son obtenidos a través de la destilación con vapor por aproximadamente 8-10h, haciendo uso no solo del rizoma para su extracción, sino también de sus hojas, con el fin de preservar el rendimiento, pigmentos y otros constituyentes (Nair, 2019).

Estudios en la fitoquímica de la cúrcuma, han logrado mencionar desde 54 y hasta 62 distintos tipos de sesquiterpenoides, un monoterpeno, cuatro sesquiterpenos, y un norditerpeno, y debido a sus estructuras los sesquiterpenoides son similares, siendo clasificados en su mayoría como isómeros (Green et al., 2008; Meng et al., 2018); sin embargo (Afzal et al., 2013; Ravindran et al., 2007) registraron que los terpenoides de mayor presencia en las variedades de cúrcuma, comprenden predominantemente mono y sesquiterpenos naturalmente, así como poca coocurrencia de di, tri, y tetraterpenos.

Los aceites esenciales del género *curcuma* suelen estar dominados por la presencia de arabinogalactanos (ukonan), ar-turmerone, tr-turmerone, turmerone, tr-curcumin, y curlone, los cuales pueden llegar a contribuir con la potencial acción antioxidante o antimicrobiana (Green et al., 2008; Tran et al., 2019) así mismo, se le atribuye su aroma a fracciones de aceite volátil previamente identificados como tumerona, atlantona, curcumeno, germacrone, ar-curcumeno y zingiberona (Fuloria et al., 2022; Jayaprakasha et al., 2005).

Estas fracciones lipídicas están dominadas por la presencia de monoterpenos en hojas y flores, mientras que en la raíz y rizomas, se interponen los sesquiterpenos; están compuestos por tumerona en un 25%, curdina 11,5%, y ar-tumerona en un 8,55%, para representar así, una fracción de aceites esenciales cercana a 3.97% (Fuloria et al., 2022), atribuyéndoles así, la capacidad de reducir y ligar radicales libres por medio de su actividad antioxidante, presente en los compuestos fenólicos y en los aceites esenciales (de Oliveira Filho et al., 2021).

Sin embargo (Meng et al., 2018; Nair, 2019) sugieren que puede haber variaciones en la composición de aceites esenciales en fracciones frescas en comparación con el polvo procesado de cúrcuma, registrando constituyentes como, ar-turmeron (21%), α -turmeron (20.5%), y β -turmeron (11.1%), en muestras frescas, y ar-turmerone (21.4%), α -santalene (7.2%), y ar-curcumene (6.6%) en muestras seca. Por otro lado, y abordando los aceites

esenciales como componentes aromáticos de la cúrcuma, es posible identificar principalmente alcoholes, cetonas y sesquiterpenos, entre ellos turmerona (35%), ar-turmerona (12%), α - and β -zingibereno (25%), 1,8 – cineol (1%), α - phelandreno (1%), sabieno (0.6%), y borneol (0.5%) (Nair, 2019; Silva et al., 2005); para concluir, (Meng et al., 2018) menciona que las diferencias en la composición de los aceites esenciales pueden ser originadas debido a distintas condiciones geográficas, ambientales, estado de procesamiento, métodos, tiempos de secado y almacenamiento.

Figura 1-3: Principales aceites esenciales presentes en la variedad *Curcuma longa*

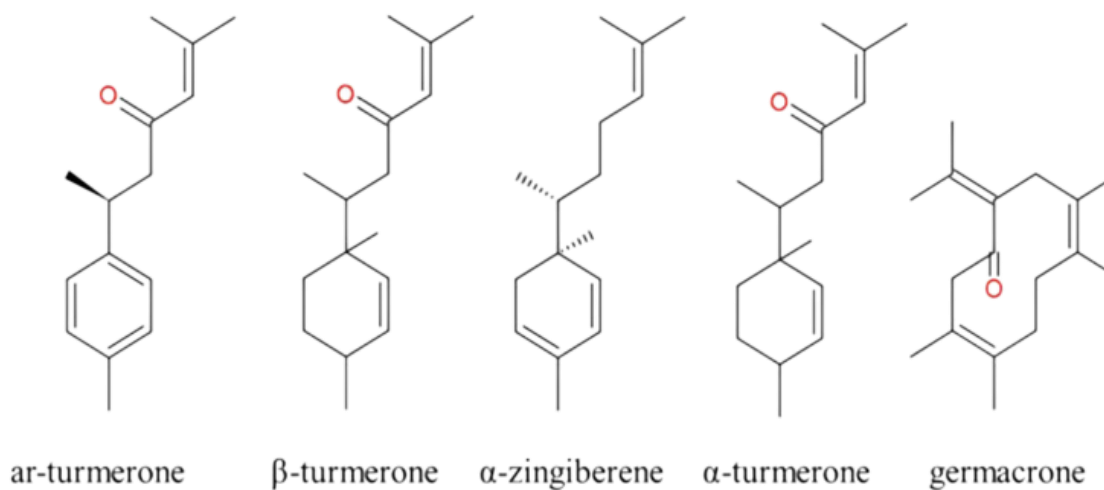


Imagen tomada de “Bioactive Compounds of Turmeric (*Curcuma longa* L.)” (de Oliveira Filho et al., 2021).

Tabla 1-2: Componentes bioactivos y actividad antioxidante para la variedad *Curcuma longa*

Componentes bioactivos		<i>Curcuma longa</i>			
		Curcuminoides			
Unidades	%	%	(mg g ⁻¹) bs	% m/m	
CUR	2.3 – 3.6	2.1	17.88 ± 1.60	2.55 ± 0.35	2.39 ± 0.33
DMC	1.5 – 2.3	0.46	12.34 ± 0.87	1.09 ± 0.14	1.01 ± 0.16
BDMC	1 – 1.6	0.1	19.84 ± 1.82	0.66 ± 0.09	0.83 ± 0.11
Tipo de muestra		Muestra comercial		Fresca	Seca
Referencia	(Monton et al., 2019)	(Ali et al., 2014)	(Komonsing, Khuwijitjaru, et al., 2022)	(Llano et al., 2022)	
Compuestos Fenólicos Totales (CFT)					
Unidades	mg Eq A.G/g muestra	mg Eq A.G/g muestra	mg Eq A.G /100g muestra	mg Eq A.G/g extracto	
CFT	172.1 ± 1.4 – 221.7 ± 0.9	30 - 60	496.76 – 745.76	43.7 – 157.4	
Descripción	Según el solvente (etanol 80% y acetona 80%)	Según el tratamiento, muestra fresca, liofilizada o secada por aire caliente	Según la concentración y el tipo de solvente	Según distintas variedades de cúrcuma	
Referencia	(Sepahpour et al., 2018)	(Chumroenphat et al., 2021)	(Nisar et al., 2015)	(Akter et al., 2019)	
Actividad Antioxidante					
Unidades	(mg Eq Trolox/100g) bs		(mg Eq Trolox g ⁻¹) bs		
DPPH	149.51 ± 0.11	145.45 ± 0.96	130.6 ± 27.7	124.8 ± 22.0	
FRAP	27.37 ± 0.23 mg FeSO ₄ /g	25.64 ± 0.64 mg FeSO ₄ /g	321.7 ± 30.2	306.2 ± 58.1	
TEAC	60.41 ± 2.42	38.68 ± 0.09	752.2 ± 30.9	749.6 ± 38.8	
Condiciones de secado	Aire caliente 50°C	Secado solar 35 - 40°C por 3-5 días	60°C sin exposición a luz	60°C con exposición a luz	
Referencia	(Chumroenphat et al., 2021)		(Komonsing, Khuwijitjaru, et al., 2022)		

*En donde CUR, DMC y BDMC refieren a curcumina, demetoxicurcumina y bisdemetoxicurcumina respectivamente.

1.4 Actividad biológica *in vitro*

1.4.1 Actividad antioxidante

La actividad antioxidante puede ser definida como una limitación o inhibición de oxidación de un nutriente (como lípidos y proteínas) por medio de la restricción de reacciones oxidativas en cadena (Guclu et al., 2021); adicionalmente, existen otras reacciones de oxidación como, el estrés oxidativo, el cual resulta de un desbalance entre radicales libres y marcadores de antioxidantes, capaces de generar desórdenes de radicales libres sobre ácidos nucleicos, lípidos y proteínas (Ibáñez & Blázquez, 2020).

La cúrcuma debido a su composición tiene características antioxidantes, hasta el punto de asociar su capacidad como un equivalente a la de la vitamina C y E, siendo actividades atribuidas a grupos hidroxilo y metoxilo (Kocaadam & Şanlıer, 2017), pero que resultan de una acción sinérgica con otros componentes como la quercetina (Fuloria et al., 2022).

La curcumina como componente bioactivo principal en el rizoma, aumenta las actividades séricas de antioxidantes como la superóxido dismutasa (SOD), mientras que su acción sobre radicales puede ser llevada a cabo a través de la capacidad de tomar distintas formas de radicales libres como el oxígeno reactivo (ROS) y nitrógeno reactivo (RNS), que por su naturaleza lipofílica, se facilita su capacidad de tomar radicales peroxilos, ejerciendo una ruptura sobre la cadena, así mismo, la curcumina puede modular la actividad de enzimas como la glutatión peroxidasa (GHS), catalasa, y SOD en la toma de radicales libres, así como la inhibición de enzimas generadas por ROS como la lipoxigenasa/ciclooxigenasa y xantina hidrogenasa/oxidasa (Hewlings & Kalman, 2017).

En el caso de la cúrcuma, el secado no solo disminuye el volumen de transporte, sino que, y debido a la acción de energía térmica, provoca la destrucción de paredes celulares y compartimientos subcelulares, los cuales sugieren un posible incremento en la liberación de compuestos antioxidantes (Komonsing, Khuwijitjaru, et al., 2022), sin embargo, (Chumroenphat et al., 2021), indica que posterior al secado solar se presenta una disminución en CFT, DPPH y FRAP en muestras de cúrcuma laminadas, así como un aumento en la respuesta al método TEAC.

(Pal et al., 2020), en el análisis de muestras frescas producidas en la región del sub-Himalaya, India, observaron dentro del potencial antioxidante, una correlación entre los

genotipos de color naranja oscuro con la alta actividad antioxidante, y baja para tonalidades amarillentas claras, el contenido de curcuminoides está relacionado con la interacción con el ambiente; sin embargo y según registró (Madhusankha et al., 2018) en un estudio realizado con muestras de rizomas de cúrcuma provenientes de India y Sri Lanka, correlacionó el color con el contenido de curcuminoides, reportando menor contenido en muestras con coloraciones naranjas – amarillentas, mientras que, aquellos rizomas, cuyas tonalidades amarillo brillante, registraron mayor contenido, registrando contenidos de curcumina entre 3.70 y 5.05%.

1.4.2 Actividad antiinflamatoria

El estrés oxidativo ha estado implicado en distintas enfermedades crónicas, y debido a sus procesos patológicos están relacionados con la inflamación, siendo inducido uno de otro; las células inflamatorias liberan una serie de especies reactivas capaces de generar estrés oxidativo, demostrando la estrecha relación que hay entre estos dos fenómenos (Hewlings & Kalman, 2017).

Modelos preclínicos, por su parte, sugieren supresión de respuesta inflamatoria debido a la inducción de COX-2, iNOS y producción de citocinas como interferon γ , resultante de la supresión de Janus Kinase (JAK)-STAT; asimismo, en células mielomas, la curcumina ha demostrado capacidad para inhibir fosforilación de STAT3, así como la supresión de la producción de interleukina-6 (R. Sharma et al., 2005).

La curcumina permite la regulación negativa de interleuquinas proinflamatorias (IL-1, -2, -6, -8, y -12), citocinas (tumor necrosis factor - α (TNF- α), monocitos, proteína quimioatrayente de monocitos – 1) y en efecto, causando una reducción o regulación de janus quinasa, traductor de señal y el activador de la transcripción (JAK/STAT), así como una regulación de respuesta antiinflamatoria, por medio de la reducción o regulación de la actividad enzimática de óxido nítrico sintasa inducible (iNOS), ciclooxigenasa -2 (COX), lipoxigenasa y actividad de xantina oxidasa, causando así, una supresión de activación de NF-kB; sumado a la inhibición de la proliferación, metástasis y angiogénesis a través de distintos alcances moleculares, aunque la inflamación sea capaz de cambiar los caminos de señal, incrementando así los biomarcadores, peróxidos lípidos, y radicales libres, resultando en un mecanismo efectivo para el tratamiento de enfermedades inflamatorias

como la obesidad, diabetes, y la enfermedad inflamatoria intestinal (IBD) (Kocaadam & Şanlıer, 2017).

Es decir, que en conclusión, los efectos antiinflamatorios se le atribuyen a la curcumina (CUR) la cual posee la facultad de accionar a través de tres propiedades, 1, la capacidad de disminuir la producción de histamina; 2, incremento y prolongación de la actividad de la hormona natural del cuerpo antiinflamatoria, cortisol; y 3, por medio de la mejora en la circulación y eliminación de toxinas en pequeñas articulaciones donde los compuestos inflamatorios y residuos celulares quedan atrapados con frecuencia (Memarzia et al., 2021).

1.4.3 Actividad antimicrobiana

La curcumina, ha demostrado distintos estímulos catalogados como actividad antimicrobiana, particularmente en contra de bacterias tanto Gram positivas (*Staphylococcus aureus* and *Enterococcus faecalis*) como Gram negativas (*Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*), así como resistencia a mohos y levaduras (Clayton Da Silva et al., 2017; Meng et al., 2018); por otro lado, (Ghiamati Yazdi et al., 2019) registró un estímulo prebiótico, al generar un extracto, resistencia a la acción enzimática del tracto gastrointestinal, destacando la persistencia de contenido de fenoles y carbohidratos no digeribles como pentosanos así como la de manosa, ramnosa, arabinosa y xilosa, clasificando el desempeño del extracto en el crecimiento de *Bifidobacterium animalis* como “significantly higher than inulin” mientras que los efectos sobre *Lactobacillus rhamnosus* registrando un comportamiento similar a la inulina.

Sin embargo, su actividad antimicrobiana generada por aceites esenciales presentes en su composición, es atribuida a su naturaleza hidrofóbica, alterando la integridad de la membrana del microorganismo, para generar así la pérdida de material citoplasmático; alrededor de los aceites esenciales con mayor influencia en la actividad antimicrobiana, es posible mencionar a ar-curcumeno y a-zingibereno, así como ar tumerona, curdiona, curzeno y B-elemenone en cuanto a actividad antifúngica y antibaccterial (de Oliveira Filho et al., 2021); así como la inhibición de *Mycobacterium smegmatis*, *Fusarium verticillioides*, *Microsporium gypseum*, *Epidermophyton floccosum*, *Trichophyton mentagrophytes*, *Trichophyton rubrum*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*,

Candida albicans, y *Saccharomyces cerevisiae* a través de sus aceites esenciales (de Oliveira Filho et al., 2021).

Así como estudios in vivo e in vitro han establecido la efectividad de la curcumina, aceites volátiles o extractos de cúrcuma en contra de distintos organismos como *Micrococcus pyogenus var. aureus*, *Staphylococcus spp.*, *Paramaecium caudatum*, *Trichophyton gypseum*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Salmonella typhi*, *Vibrio cholerae*, *Cornybacterium diphtheria*, *Aspergillus niger*, etc (Sasikumar, 2012).

1.4.4 Biodisponibilidad

Los curcuminoides en general poseen una insuficiente absorción durante su paso por el intestino, una alta velocidad de metabolismo y rápida capacidad sistémica de eliminación en el cuerpo, haciendo que la curcumina en particular, posea una limitada biodisponibilidad, significando así una barrera capaz de limitar el alcance de posibles efectos terapéuticos en procesos clínicos (Kocaadam & Şanlier, 2017; Memarzia et al., 2021); sin embargo, diversos estudios han coincidido en que la piperina, una molécula bioactiva presente en la pimienta, tiene la capacidad de estimular la absorción de la curcumina en el organismo, por medio de su acción reductora de glucuronidación, así como el uso de nanopartículas y complejos fosfolipídicos (Kocaadam & Şanlier, 2017) siendo capaces de proteger la molécula de degradación química e incrementar su bioaccesibilidad (Memarzia et al., 2021).

Una vez absorbida, la curcumina puede ser metabolizada por las células epiteliales o rechazadas debido a la presencia de transportadores como glicoproteína-P, los cuales incrementan en medio de la membrana celular, pero puede llegar a ser inhibida a través de moléculas como la piperina o catequinas en el té (Memarzia et al., 2021), siendo entonces su baja metabolización y alta inestabilidad química, un reto para la industria farmacéutica (Nair, 2019; Pal et al., 2020).

1.5 Etapas del procesamiento

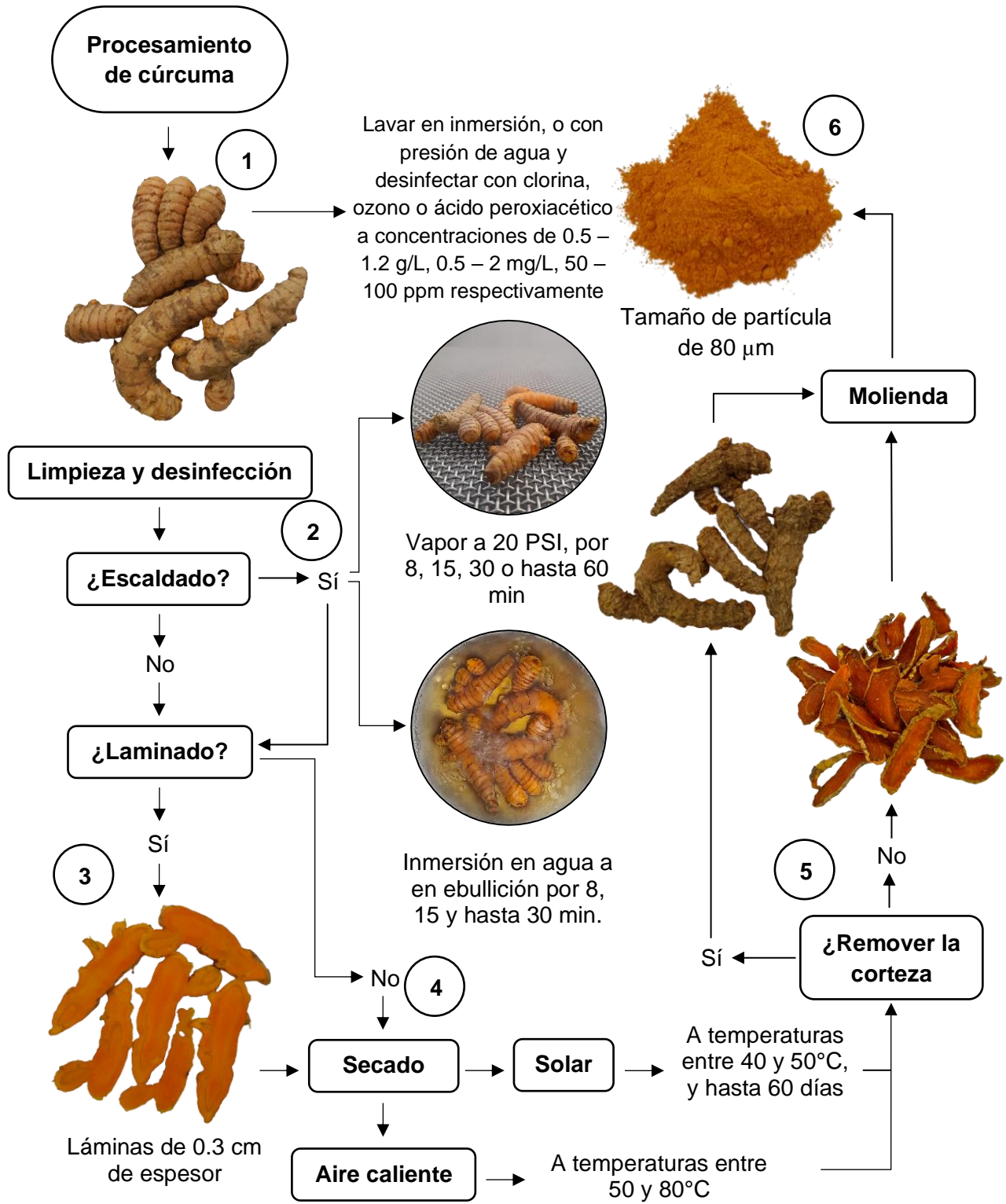
La cúrcuma o turmérico, comúnmente refiere a un producto pulverizado obtenido general y no exclusivamente de la variedad *Curcuma longa*, su origen geográfico se traslada al sudeste asiático, se ha expandido agroecológicamente a través de latitudes tropicales

como las latinoamericanas. La cúrcuma se encuentra muy bien posicionada, al ser capaz de mover un mercado global de 40 billones de dólares, bajo la división categórica de alimento funcional asociado con efectos beneficiosos a la salud, debido a su capacidad antioxidante, actividad antiinflamatoria, antimicrobiana, neuro protectora o sencillamente como colorante natural.

Diversos investigadores le han atribuido gran parte de su actividad biológica a la presencia de un grupo de moléculas identificadas como curcuminoides, comprendiendo a su vez tres sustancias dominantes, Curcumina (CUR), demetoxicurcumina (DMC) y bisdemetoxicurcumina (BDMC), en particular la curcumina, es responsable en un 80% de su tonalidad.

Al ser los curcuminoides responsables en gran parte de los efectos farmacológicos/ colorantes de la cúrcuma, distintos estudios recurren a una evaluación de tratamientos y/o condiciones capaces de favorecer en mayor medida su presencia, a través de prácticas como curados o pretratamientos que pueden influir no solo sobre el contenido total de curcuminoides, sino sobre aspectos físicos y químicos de calidad.

Figura 1-4: Diagrama de flujo procesamiento para escaldar, secar y disminuir tamaño de partícula en rizomas de cúrcuma



1.5.1 Limpieza y desinfección

Limpieza

Una vez cosechados los rizomas son lavados de manera vigorosa con el fin de retirar las fracciones de suelo que están adheridas, adicionalmente, esta tapa también permite la separación de rizomas por tamaño, desprendiendo los rizomas de los tallos con el fin de tener de manera equitativa los impactos de los tratamientos (Sasikumar, 2012); el lavado de los rizomas puede ser un proceso crucial, de este dependerán muchos factores de calidad del producto, por lo que, una correcta remoción del material de suelo en su exterior, permite un producto más estable y duradero. El lavado se ha completado cuando físicamente no quede material de suelo adherido, y luego de 3 o 5 lavadas, el agua sale limpia (Sachan & Kapoor, 2007).

Desinfección

El proceso de desinfección en vegetales generalmente consiste en la inmersión o aspersión de productos con soluciones en concentraciones determinadas capaces de proteger los alimentos frescos de riesgos microbiológicos, al estar constituidos por altas fracciones de agua, y estar expuestos a una amplia posibilidad de ser contaminados por agentes microbianos, así como un alto rango de bacterias y esporas (Chinchkar et al., 2022).

Generalmente el proceso de desinfección acude a tecnologías de acción química, a partir de sustancias como la clorina, o hipoclorito de sodio, siendo la más común y eficiente contra bacterias, mohos, levaduras y virus en concentraciones de 0.5 – 1.2 g/L, mientras que y para frutas generalmente son manejadas concentraciones de 100 ppm, ozono en un rango de concentración de 0.5 – 2 mg/L, ácido peroxiacético con concentraciones entre las 50 – 100 ppm, hidrogeno peróxido en proporciones del 1 al 5%, trisodio fosfato en proporciones del 2 al 15% así como el uso de ácidos orgánicos como el ácido acético y oxálico (Chinchkar et al., 2022).

1.5.2 Tratamiento térmico previo

Como tratamientos previos al secado, el escaldado por vapor resulta como la práctica capaz de contribuir con la fijación, distribución y retención de color y componentes

bioactivos, inactivar enzimas como la polifenol oxidasa y peroxidasa, facilitar la remoción de aire de los espacios intracelulares, reducir la carga microbiana inicial y gelatinizar del almidón (Blasco et al., 2016; Rahman, 2007), sin embargo, un tratamiento demasiado prolongado puede llegar a tener otra serie de efectos como la degradación y/o pérdida de pigmentos, aromas, vitaminas y sólidos solubles (Das & Sharangi, 2018; Rahman, 2007) llegando a establecer entonces, tiempos de escaldado dados en función del producto o atributo deseado.

Sin embargo, esta operación puede tener distintos efectos sobre los curcuminoides, haciéndolos variar, en función del tiempo, la temperatura y el procedimiento de secado; tiempos entre 15 y 30 min pueden resultar en los tratamientos más beneficiosos en función de la concentración de curcumina (Gan et al., 2016; Hirko et al., 2020), así como, tiempos tan cortos como 5 o 0 min, pueden no resultar igual de benéficos en comparación con los tiempos previamente mencionados (Gan et al., 2016), pero condicionados a operaciones de procesamiento (Ravi et al., 2016).

1.5.3 Laminado

La geometría de la muestra en el momento del secado influye en la eficiencia del proceso, entre mayor sea la superficie de contacto, mayor facilidad de remoción de agua se obtiene, configurando resultados adecuados para el parámetro de humedad en menores tiempos y con mayor uniformidad (Bezbaruah et al., 2014), sin embargo, y aunque el laminado resulte favorecer tiempos de proceso en comparación con muestras no laminadas, puede exponer sustancias cromóforas como la curcumina por tiempos prolongados a la luz solar (Balasubramanian et al., 2016).

1.5.4 Secado

El secado es una operación antigua usada para la conservación de alimentos, funcionando bajo el principio físico de la remoción de humedad contenida en un producto por medio de su calentamiento (Bennamoun & Li, 2018), resultando en un procedimiento interesante para intereses comerciales, al no solo extender el tiempo de vida útil de los productos, sino reducir las dimensiones de empaque, costos de transporte y manufactura en general (Jin et al., 2017). El secado acontece distintos fenómenos de transferencia, como la difusión y presión hidrostática a través del tiempo, y llega a comprender distintas etapas:

- ***Fase inicial***

Comprendida como la fase del tiempo cero, consiste en equilibrar la temperatura del bulbo húmedo con el producto a secar, haciendo de esta la fase más rápida y corta dentro del proceso de secado (Bennamoun & Li, 2018).

- ***Fase constante***

Durante esta etapa, la tasa de evaporación por unidad de área de la superficie de secado es independiente del tiempo, siendo entonces esta tasa de evaporación proporcional a la diferencia con la presión de vapor del ambiente. En esta etapa la evaporación causa un efecto de enfriamiento en el cuerpo líquido, haciendo que esta temperatura reducida conlleve a incluso bajar la tasa de evaporación, dando lugar a que este fenómeno entre en equilibrio hasta que la superficie de secado alcance la temperatura del bulbo húmedo, por lo que la temperatura solo aumentará una vez la tasa de evaporación haya decrecido, siendo la superficie del producto la que resulta saturada al sufrir una redistribución interna de agua, haciendo que el calor impartido por las condiciones de secado, evapore con facilidad el agua expuesta en su superficie, y que no logre penetrar aún a través de los tejidos (Bennamoun & Li, 2018; Scherer, 1990).

- ***Primera fase de ritmo decreciente***

Para esta fase la evaporación decrece y la temperatura de la superficie de secado aumenta incluso siendo superior que la del bulbo húmedo. Para este punto, fracciones de líquido remanente sufre una transición hacia la evaporación, buscando poros insaturados a través de la difusión, llevando a los meniscos dentro del cuerpo, asimismo y debido al flujo de aire en los poros, el material empieza a perder traslucidez (Scherer, 1990).

- ***Segunda fase de ritmo decreciente***

Teniendo en cuenta que el menisco reside en el interior del cuerpo, no es aún un producto seco, por lo que en esta fase debido a que la temperatura es estable, el líquido continúa migrando al exterior; sin embargo, al estar aislado este líquido a manera de capsulas dentro del cuerpo, resulta en un proceso lento el de migración, por lo que la única manera de retirarlo resulta a través de la difusión de vapor, sucediendo entonces una evaporación dentro del cuerpo (Scherer, 1990).

Tipos de secado más comunes

Secado solar

Método antiguo, convencional, económico y amigable con el medio ambiente que consiste en exponer los alimentos directamente a la radiación solar, deshidratando productos bajo el principio de diferencial de densidad, desde la circulación del aire; el secado solar, aunque resulta en una tecnología práctica y de alto impacto para comunidades de la ruralidad, solía ser asociado con una baja inocuidad, exposición a contaminantes del entorno, pérdidas de producto, y dificultad de control sobre el procedimiento (Rahman, 2007), sin embargo y gracias al aprovechamiento de energías disponibles, nuevas tecnologías tanto híbridas como totalmente solares han conllevado a diseños mejor estructurados, seguros, optimizados, y de fácil construcción.

Secado por convección

Comprende una técnica que toma lugar en una cabina cerrada, en donde por medio de corrientes de aire caliente continuo y controlado, transfiere calor a un producto determinado, logrando así remover su contenido de agua a través del arrastre de vapor; en el secado por convección influyen variables como, humedad de la cámara, temperatura, velocidad de aire, patrón de distribución, geometría y características propias del producto, configurando el control de variables el comportamiento del ritmo de secado del producto, en donde mayor temperatura, implica menor tiempo de secado, así como mayor velocidad de aire, menor tiempo de secado, y menor humedad en el aire, mayor ritmo de secado (Rahman, 2007).

Modelos de secado

Modelo Henderson y Pabis primer término de una serie de soluciones de la segunda ley de Fick, y usado para predecir las características de secado de maíz.

$$MR = \alpha \exp(-kt)$$

Modelo de Lewis comprende un caso especial del modelo de Henderson y Pabis, donde el intercepto es unidad; fue usado para describir el proceso de secado de cebada y semillas de uva

$$MR = \exp(-kt)$$

Modelo de Page comprende una modificación empírica del modelo de Lewis, con el fin de superar algunas deficiencias; usado para describir las características de secado de algunos productos agrícolas

$$MR = \exp(-kt^n)$$

Modelo Logarítmico, usado para estudios de secado de capas delgadas, y ha sido exitosamente usado para describir las características de secado de duraznos, albaricoques y tomates

$$MR = a \exp(-kt) + c$$

Modelo de Wang y Sing, comprende un modelo de segundo orden polinomial, que ha sido usado para caracterizar las cinéticas de secado del arroz con cáscara.

$$MR = 1 + at + bt^2$$

En los modelos propuestos, a, b, c, n comprenden coeficientes de secado, y k es la constante de secado (min -1) (Doymaz & Smail, 2011).

1.5.5 Remoción de la corteza

También conocido como polinchado, consiste en una operación capaz de remover la capa exterior del rizoma seco con el fin de obtener un producto más luminoso, brillante, amarillo y de mejor calidad en general; este procedimiento entonces puede ser ejecutado de manera manual o mecánica, para el caso manual, resulta en un procedimiento tedioso, lento y demandante de labor, al involucrar escasamente una bolsa de fibras plásticas, mientras que el tratamiento mecánico, generalmente es llevado a cabo, por medio de un contacto directo con planchas duras, tambores de agitación con superficies bruscas o fuerzas de presión, siendo el tambor el método más usado a 40 rpm por 20 min (Hoque & Hossain, 2018; Powar et al., 2015) significando remociones de masa entre el 5 y el 8%, sobre el rendimiento total del rizoma seco (Yewle et al., 2019).

1.5.6 Molienda

La reducción del tamaño de partícula sucede a través de procesos mecánicos como la compresión, impacto, cortado, cizalla o la combinación de ellos, dependiendo del tipo de producto que se requiera y su composición. Sin embargo y para el caso de la cúrcuma, al

comprender un organismo oleoso o con presencia significativa de fracción eterea, añade cierta dificultad al procedimiento, aunque, no ejecutarlo dificultaría su desempeño tecnológico frente a la liberación de agentes colorantes, y aceites esenciales encapsulados en las membranas celulares (Balasubramanian et al., 2016; Shelake et al., 2017).

La molienda adicionalmente acarrea otro gran problema, y es que al operar por medio de energías mecánicas, para obtener tamaños de partícula entre mallas 60-80 equivalentes a 250 y 177 μm respectivamente, generando calor y alcanzando temperaturas entre los 42 y 95°C, dependiendo de distintos factores como su contenido de humedad y su fracción oleosa, resultando en una afección sobre componentes termosensibles (Balasubramanian et al., 2016; Shelake et al., 2017) sumado al incremento de tiempo de molienda a partir de la obstrucción del tamiz.

Adicionalmente, la molienda de cúrcuma influye sobre la composición proximal del producto, así como en el perfil de aceites volátiles, encontrando una menor retención de aceites volátiles en muestras sin control de temperatura, en comparación con una muestra con control, alcanzando valores cercanos a un 18% más, para contenidos de aceites volátiles, equivalentes a 43 compuestos en comparación con una muestra que ha sufrido calentamiento, cuyo perfil no poseía más de 30 componentes (Shelake et al., 2019); mientras que, y en cuanto a su composición proximal, macro componentes como proteína, grasa y carbohidratos se vieron beneficiados con bajas temperaturas de molienda, registrando mayores contenidos en comparación con la muestra control (Shelake et al., 2019).

Asimismo, y según ilustra la tabla 1-3, los pretratamientos como el escaldado y laminado pueden llegar a tener un impacto sobre el componente bioactivo principal, la curcumina, así como las condiciones de secado, tiempo y temperatura, que no necesariamente siguen un patrón de relación, sino que pueden estar dadas por distintos aspectos relacionados con el contexto geográfico y botánica del rizoma; adicionalmente, y según se observa en el estudio de (Salata et al., 2022), no laminar los rizomas implica un recurso energético mayor y no representa una diferencia significativa frente al contenido de curcumina, en relación con los rizomas que sí fueron laminados.

1.5.7 Almacenamiento

Estabilidad de la curcumina durante el almacenamiento

Otra de las grandes inquietudes que ha surgido frente al comportamiento de la curcumina es su estabilidad, tanto de aplicación bajo distintas condiciones de luz, pH y temperatura, como su desempeño en un periodo de tiempo determinado, en donde diversos estudios evalúan su desempeño y logran concluir qué condiciones tienden a afectar en mayor o menor medida sus características fisicoquímicas.

Para el caso de la exposición a la luz, (Lestari & Indrayanto, 2014) expuso su muestra de curcumina disuelta en isopropanol por 4 h frente a un espectro de longitud de onda 400 – 510 nm, evidenció una degradación de curcumina, atribuyéndole el fenómeno a procesos de ciclación inducidos por la irradiación de la luz, y acontecidos posterior a una exposición de 15 min, resultando en subproductos de curcumina como vanilina, ácido vanílico, ferúlico aldehído, ácido ferúlico y 4-vinylguaiacol; asimismo, y luego de observar el comportamiento del analito en una solución etanoica en exposición solar equivalente a 120h, hubo una degradación superior, alcanzando subproductos de la curcumina, como la vanilina, aldehído ferúlico, ácido ferúlico y ácido vanílico. En contraste y según lo registró (Khurana & Ho, 2006) en su estudio, afirma que la curcumina contenida dentro de material seco, tiende a ser más estable y/o menos susceptible a efectos de degradación por exposición a la luz solar, en comparación con muestras diluidas en una solución.

Existen otros factores comunes interferentes en la estabilidad de la curcumina como el pH, estableciendo condiciones ácidas como más favorables, mientras que entornos alcalinos resultan menos favorables (Nandiyanto et al., 2017) configurando condiciones no alcalinas, ambientes secos, no cálidos y foto protegidos, como la manera ideal de preservación de la curcumina, luego de haber sido sometida a condiciones de degradación inducidas por operaciones de procesamiento.

Tabla 1-3: Impacto del procesamiento sobre el contenido de curcumina (CUR)

Comportamiento de (CUR) a través del secado	Reportes de literatura									
	Condiciones de operación					Mayor retención de CUR		Menor retención de CUR		
	Referencia	Pretratamiento térmico	Laminado	Tipo de Secado	Tiempos y temperaturas	Humedad (%)	Condición	Contenido (%)	Condición	Contenido (%)
Secado por aire caliente										
(Jeevarathinam et al., 2021)	Escaldado por 5 min a 92°C	Laminado (5 mm)	Aire caliente	780 min a 50, 60 y 70°C	7.00	Secado a 60°C	3.56 ± 0.02	Secado a 70°C	3.36 ± 0.047	
(Charoenchai et al., 2020)	Escaldado por 30 min a 100°C y sin escaldado		Aire caliente	5 h a 60°C	Entre 8.66 y 9.33	Sin escaldado	4.81 ± 0.21	Escaldado	4.57 ± 0.06	
(Salata et al., 2022)	Escaldado entre 45 y 60 min y sin escaldado	Laminado (2.5 cm) y sin laminar	Aire caliente		9.68 y 10.67	Escaldado y laminado	5.66 ± 0.14	Sin escaldado sin laminado	5.07 ± 0.11	
(Raza et al., 2018)	Escaldado por 1, 2 y 3 h		Horno de Convección	Entre 6 y 45 h a 60, 70, 80 y 90°C	Inferior a 10.00	Secado a 60°C	2.93 ± 0.14	Secado a 90°C	1.73 ± 0.12	
(Raza et al., 2018)	Escaldado por 1, 2 y 3 h		Aire caliente	Entre 4 y 41 h a 60, 70, 80 y 90°C	Inferior a 10.00	Secado a 70°C	2.97 ± 0.19	Secado a 90°C	1.84 ± 0.1	
Secado Solar										
(Ettannil & Zachariah, 2016)	Escaldado (10, 40, 60 y 90 min) / vaporizado (30, 45 y 60 min)	Laminado	Solar	11 a 18 días con temp. Máx de 37°C	10.00	Vaporizado por 30 min	6.00	Cocción por 90 min y vaporizado por 60 min	5.12	
(Salata et al., 2022)	Escaldado entre 45 y 60 min y sin escaldado	Laminado (2.5 cm) y Sin laminar		10 h humedad relativa entre 65 y 70%	Entre 9.83 y 10.23	Escaldada sin laminar	5.82 ± 0.08	Sin escaldar laminada	5.60 ± 0.06	
Tecnologías emergentes										
(Jeevarathinam et al., 2021)	Escaldado por 5 min a 92°C	Laminado (5 mm)	Secado con infrarrojo	660 min a 50, 60, y 70 °C	7.00	Secado a 60°C	4.01 ± 0.09	Secado a 70°C	3.61 ± 0.08	
(Jeevarathinam et al., 2021)	Escaldado por 5 min a 92°C	Laminado (5 mm)	Aire caliente + asist. con infrarrojo	480 min a 50, 60 y 70°C	7.00	Secado a 60°C	4.39 ± 0.09	Secado a 70°C	3.84 ± 0.05	
(Monton et al., 2019)	Escaldado por 30 min y sin escaldado	Laminado 0.2 -0.3 cm	Microondas (850 y 450 Watt)	60°C aire caliente + 5 min de microondas 630 W						
(Salata et al., 2022)	Escaldado entre 45 y 60 min y sin escaldado	Laminada (2.5 cm) y sin laminar	Secado con lecho fluidizado	315 min a 36°C, humedad relativa 35 y 60%	Entre 9.86 y 10.32	Laminada sin escaldar	4.90 ± 0.012	Sin laminar escaldada	4.52 ± 0.03	

1.6 Conclusiones parciales

Colombia dispone de condiciones geográficas que pueden favorecer la producción de los rizomas al poseer terrenos montañosos con climas subtropicales, sin embargo, existe una carencia de explotación industrial nacional de este producto, haciendo que el mercado de la cúrcuma en Colombia esté sujeto a un comportamiento internacional frente a calidad, disponibilidad y precio.

Estudios previos, han obtenido rangos de presencia de curcumina y compuestos fenólicos totales que oscilan desde 2.1 hasta 5.8% y entre 30 y 74.6 g Eq A.G/g muestra respectivamente, dependiendo de factores como el origen de la muestra, su variedad, disposición y tratamiento, sin embargo, y realizando una comparación con estudios previos relacionando operaciones de acondicionamiento, métodos y temperaturas de secado, no hay diferencias frente a la presencia de curcumina, trasladando su influencia a aspectos botánicos como la variedad, condiciones de suelo o geografía de desarrollo.

Distintos reportes de literatura sitúan 60°C como la mejor condición de secado frente a las demás temperaturas, destacando que mayores temperaturas como 70°C degrada en mayor medida el contenido de curcumina y temperaturas de 50°C no resultan ser las más favorables; así mismo el secado solar no implica una mayor degradación, ni tecnologías emergentes marcan una diferencia significativa en la preservación de este componente durante la deshidratación de la matriz en comparación con tecnologías convencionales. Tratamientos de acondicionamiento previos al secado como escaldado y laminado, tampoco logran establecer una diferencia clara en condiciones de procesamiento favorables frente al contenido de curcumina.

2. Capítulo 2 – La cúrcuma, procesamiento y calidad

2.1 Introducción

La cúrcuma o turmérico, comúnmente refiere a un producto pulverizado obtenido general y no exclusivamente de la variedad *Curcuma longa*, que, y aunque su origen geográfico se traslada al sudeste asiático, se ha expandido agroecológicamente a través de latitudes tropicales como las latinoamericanas. Económicamente hablando, la cúrcuma se encuentra muy bien posicionada, al ser capaz de mover un mercado global de 40 billones de dólares, bajo la división categórica de alimento funcional asociado con efectos beneficiosos a la salud, a raíz de su capacidad antioxidante, actividad antiinflamatoria, antimicrobiana, neuro protectora o sencillamente como colorante natural.

A partir de la significancia funcional que ha venido consolidando la cúrcuma, diversos investigadores le han atribuido gran parte de su actividad biológica a un selecto grupo de moléculas identificadas como curcuminoides, compuesto por curcumina (CUR), demetoxicurcumina (DMC) y bisdemetoxicurcumina (BDMC), en donde la curcumina, es responsable en un 80% de su tonalidad, así como de muchos los efectos farmacológicos, trasladando intereses sobre la evaluación de efectos sobre el contenido de curcumina a través de operaciones de procesamiento. Por lo que, el propósito de este trabajo consistió en evaluar el impacto de condiciones de proceso, sobre aspectos físicos y químicos de calidad del polvo de cúrcuma.

2.2 Materiales y métodos

Acondicionamiento de las muestras

10 kilogramos de rizomas frescos fueron lavados por inmersión, retirando impurezas macroscópicas, posteriormente fueron divididos en lotes de 350 g y escaldados con vapor a una presión de 20 PSI, por 8, 15 y 30 min, estableciendo como control la muestra sin escaldar, y laminados a un espesor de 2.5 mm.

Operación	Tiempo (min)	Condición
Escaldado por vapor	0	Vapor a 20 PSI
	8	
	15	
	30	

Secado

Fueron evaluadas tres condiciones de secado por aire caliente (50, 60 y 70 °C), determinando el tiempo de secado hasta que se alcanzara un peso constante.

Operación	Duración	Temperatura (°C)
Deshidratado	Hasta alcanzar un peso constante	50, 60 y 70

Diseño experimental

Para los ensayos se utilizó un diseño experimental factorial completamente al azar, comprendiendo dos factores (tiempo de escaldado y temperatura de secado) con cuatro niveles para el tiempo de escaldado (0, 8, 15 y 30 min) y tres niveles para temperatura de deshidratado (50, 60 y 70°C), resultando en doce experimentos, realizados por duplicado.

Tabla 2-1: Diseño experimental para evaluación de operaciones de acondicionamiento de rizomas de cúrcuma

		X: Tiempos de escaldado con vapor (min)			
		0	8	15	30
Y: Temperatura de deshidratado (°C)	50	0 min 50°C	8 min 50°C	15 min 50°C	30 min 50°C
	60	0 min 60°C	8 min 60°C	15 min 60°C	30 min 60°C
	70	0 min 70°C	8 min 70°C	15 min 70°C	30 min 70°C

Análisis fisicoquímico*Humedad*

Determinada a través del método descrito por (Bradley, 2010), en donde 3 ± 0.05 g de muestra son llevados a temperatura constante ($105 \pm 1^\circ\text{C}$) por al menos 3 h y hasta 24 h, para registrar posteriormente la pérdida de peso como agua evaporada, siguiendo la ecuación propuesta por (Komonsing, Khuwijitjaru, et al., 2022).

$$M = \left[\left(\frac{W_o - W_d}{W_o} \right) * 100 \right]$$

En donde W_o y W_d son las masas (g) de la materia fresca y seca del rizoma de cúrcuma

Actividad de agua

Fueron tomados 3 ± 0.05 g de muestra a temperatura ambiente, y dispuestas en el sensor por un tiempo aproximado de 8 min, o hasta que la lectura fue estabilizada, siguiendo el método AOAC 978.18.

Cinéticas y curvas de secado

La masa de los lotes de rizomas escaldados con vapor y laminados fueron registrados cada 45 min, para determinar la curva de secado, según la cantidad de agua evaporada mediante la siguiente ecuación:

$$MR = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e}$$

En donde M es el contenido de humedad % (bh) X_0 es el contenido inicial de humedad (kg de agua/ kg dm) X_t el contenido de humedad en distintos tiempos de secado (kg de agua/ kg dm) y X_e corresponde al contenido de humedad equilibrado o el contenido final determinado (kg de agua/ kg materia seca) (Doymaz & Smail, 2011; Komonsing, Khuwijitjaru, et al., 2022).

La composición proximal del polvo de cúrcuma fue establecida a través de la determinación de humedad (Bradley, 2010), proteína AOAC 981.10 (AOAC, 2012), cenizas AOAC 941.12 (AOAC, 2012), extracto etéreo AOAC 920.39 (AOAC, 2012), fibra dietaria AACC 32-05.01 y AACC 32-21.01 y otros carbohidratos por diferencia de 100.

Proteína:

Determinada siguiendo el método analítico *Kjeldahl*, 981.10 (AOAC, 2012), con modificaciones sugeridas por (Mæhre et al., 2018) en donde se interpreta la cantidad de nitrógeno total, como equivalentes de grupos amino.

$$\%N = V * N * \frac{14}{1000} * \frac{100}{\text{pesodelamuestra}(g)}$$

$$\%Proteína = \%N * F$$

Cenizas:

Fueron determinadas siguiendo el procedimiento termo gravimétrico sugerido por el método oficial 941.12 (AOAC, 2012), tomando 5 ± 0.5 g de muestra, para posteriormente ser precalcinados en una plancha de calentamiento, y ser llevadas a una mufla a 550°C por 24h, hasta alcanzar una fracción residual blanca, para finalmente registrar y

correlacionar las masas previas y posteriores al proceso, expresadas como contenido total de cenizas:

$$\text{Peso de la ceniza} = (\text{Peso del crisol y ceniza}) - \text{peso del crisol}$$

$$\% \text{Ceniza} = (\text{Peso de ceniza} / \text{peso inicial de la muestra}) * 100$$

Extracto etéreo:

Determinada a través del método oficial AOAC 920.39 (AOAC, 2012), tomando 5 g de muestra seca y dispuestos en un sistema de extracción Soxhlet, con éter anhidro por un periodo de 4 h, a un ritmo de condensación de 5-6 gotas/s más 16 h 2-3 gotas/s; posteriormente, fue retirado el solvente a través de rota vaporación y secado a 100°C por 30 min.

$$\% \text{Grasa} = ((g) \text{ grasa en la muestra} / (g) \text{ masa de muestra}) * 100$$

Fibra dietaria:

Fibra dietaria total (FDT) fue determinada a través del método AACC 32-05.01, mientras que la determinación de fibra dietaria soluble (FDS) e insoluble (FDI) fue a través de AACC 32-21.01.

Fue tomado 1 ± 0.005 g de muestra y sometido a una digestión enzimática secuencial por a-amilasa, proteasa y amiloglucosidasa

Para la determinación de FDS y FDI, se hace un lavado del residuo del filtrado con agua tibia destilada, posteriormente, con una combinación de la solución del filtrado y el agua de los lavados se precipita con 4 volúmenes de etanol al 95%, esto con el fin de determinar FDS, mientras que el precipitado es luego filtrado y secado para la determinación de FDI, para ser corregidos posteriormente con el contenido de proteína, cenizas y blanco.

$$\text{Fibra dietaria (\%)} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} - p - A - B}{\frac{m_1 + m_2}{2}} \times 100$$

Donde:

R_1 = masa del residuo 1 de m_1 ; R_2 = masa del residuo 2 de m_2

m_1 = masa de la muestra 1; m_2 = masa de la muestra 2

A = masa de las cenizas de R_1 ; p = masa de proteína de R_2 y

$$B = \text{blanco}$$

$$= \frac{BR_1 + BR_2}{2} - BP - BA$$

Donde:

BR = residuo del blanco; BA cenizas del blanco de BR_2 ; BP = proteínas del blanco BR_1

Carbohidratos:

Determinados por diferencia de 100 a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Carbohidratos (\%)} = 100 - (\text{humedad(\%)} + \text{Cenizas (\%)} + \text{grasa total(\%)} + \text{proteína(\%)})$$

Propiedades físicas

Color

Los valores de color fueron expresados en coordenadas cromáticas del espacio CIE $L^*a^*b^*$, tomados con un medidor de color CR-400 KONICA MINOLTA, JAPAN, así como la variación del valor de ΔE en función de los tratamientos y pretratamientos, siguiendo las ecuaciones propuestas por (Komonsing, Khuwijitjaru, et al., 2022; Ray et al., 2022; S. Sharma et al., 2021) como la coordenada cromática (1), cambio total de color (2), índice de marroneamiento (4) y tono (5)

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

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

$$X = \frac{(a^* + 1.75 L^*)}{(6.645 L^* + a^* - 3.01 b^*)} \quad (3)$$

$$BI = 100 \times \left(\frac{X - 0.31}{0.17} \right) \quad (4)$$

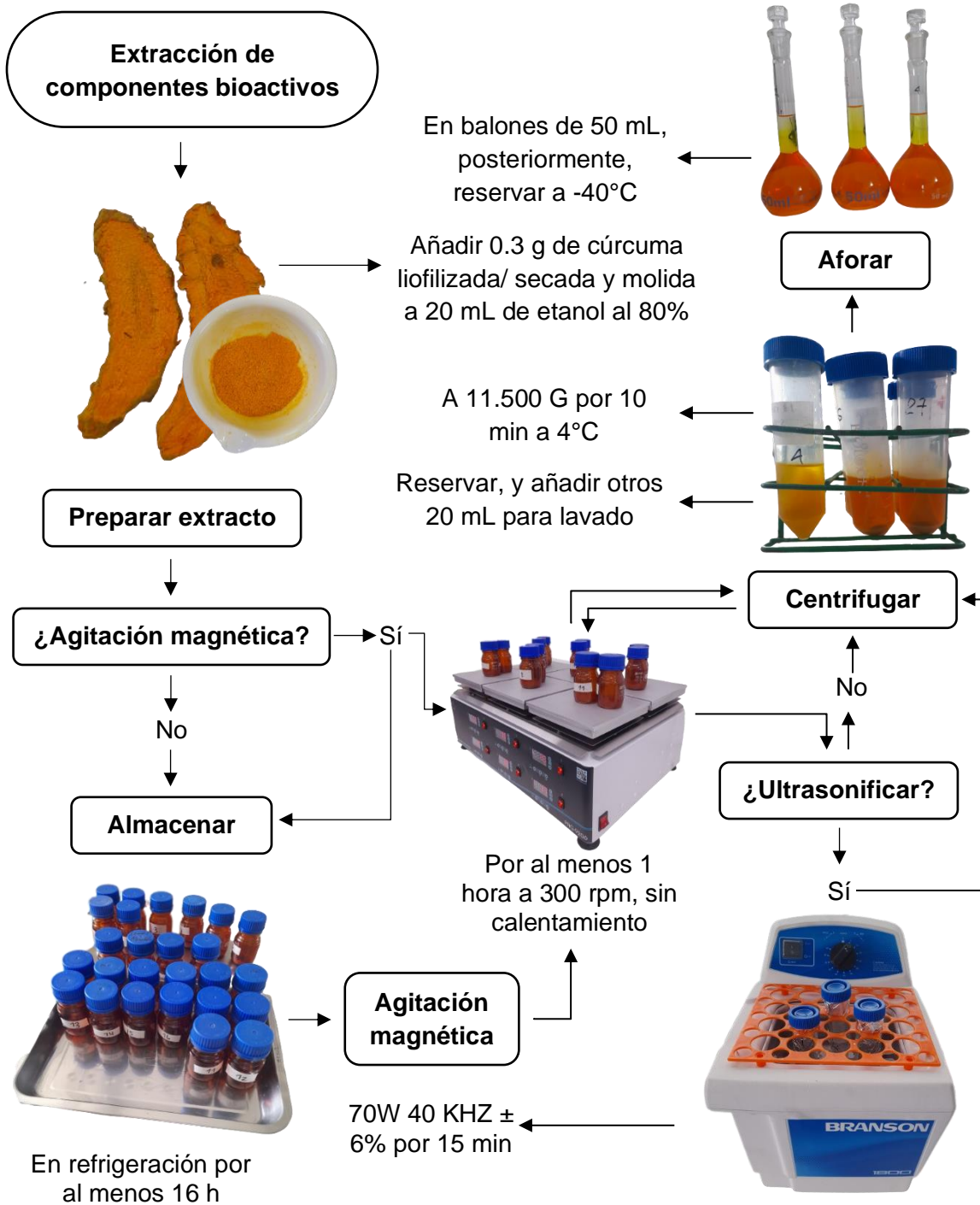
$$H^0 = \tan^{-1} \times \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (5)$$

Análisis de componentes bioactivos

Extractos etanólicos

0.3 ± 0.005 g de la muestra de polvo de cúrcuma fueron disueltos en 50 mL de etanol estándar al 80%, y homogenizados con ayuda de agitación magnética a una velocidad constante de 350 rpm durante 1 h, posteriormente, fueron dejadas las muestras en oscuridad a 4°C durante 12h; transcurrido el tiempo de reposo, fueron llevadas nuevamente a agitación + 15 min en un baño de ultrasonido BRANSONIC M1800H (70 W 40 KHZ ± 6%) por 15 min y centrifugadas a 11.515 G por 10 min a 4°C, realizando lavados hasta que no se diluyera más coloración (Ashwinder & Vasudeva, 2017).

Figura 2-1: Proceso de extracción de componentes bioactivos en el polvo de cúrcuma.



Compuestos fenólicos totales (CFT):

Fueron determinados a través del método *Folin Ciocalteu* descrito a detalle por (Singleton & Rossi, 1965) más algunas modificaciones planteadas por (Sánchez-Camargo et al., 2021); fueron tomados 200 μ L del extracto etanólico más 1 mL del reagente Folin Ciocalteu, dejando reposar por 5 min. Posteriormente fueron añadidos 1.6 mL de carbonato de calcio en solución al 7.5% y dejados en reposo por 120 min en la oscuridad. Finalmente, la lectura de absorbancia fue realizada en un espectrofotómetro UV-VIS a una longitud de onda de 765 nm, ubicando las lecturas en la curva de calibración (0 a 300 mg L⁻¹) (Komonsing et al., 2022).

$$CFT[mg_{Eq. A.G.}/g_{ms.}] = \frac{C_{CFT} \times V_s}{100 \times ms}$$

En donde V_s representa el volumen de la solución usado para la extracción (mL) y ms la materia seca contenida en la muestra; C_{CFT} es la concentración total (mg/100 mL).

Contenido de curcumina (CUR)

El contenido de curcumina fue determinado a través del método espectrofotométrico descrito a detalle por (Ashwinder & Vasudeva, 2017) con algunas modificaciones; tomando 20 μ L del extracto etanólico y llevándolo a un volumen de 2 mL en metanol al 98%, estableciendo un factor de dilución de 100. Finalmente, la lectura de absorbancia fue realizada en un espectrofotómetro UV-VIS a una longitud de onda de 425 nm, con absorbancias entre 0.1 y 1.0 en curva de calibración (0 a 5 μ g/mL)

$$\% \text{ curcumina} = \frac{A_{425} \times \text{Factor de dilución} \times 100}{0.42 \times \text{Peso de la muestra}}$$

Donde A_{425} = absorbancia de la muestra a 425 nm; Factor de dilución = 2000/20 = 100

*Actividad Antioxidante**DPPH*

Fueron tomados 0.05 mL del extracto etanólico y mezclados con 2 mL de 0.1 mM 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) de acuerdo a lo descrito por (Joshi et al., 2021); posteriormente, fueron llevadas las muestras a un volumen de 3 mL con metanol, con el

fin de determinar distintas concentraciones (16.00–130.00 µg/mL) para posteriormente calcular la capacidad de tomar radicales libres

$$\text{Capacidad de tomar radicales libres (\%)} = \left(\frac{A_{DPPH} - A_s}{A_{DPPH}} \right) \times 100$$

Donde A_{DPPH} refiere a la absorbancia de DPPH en la ausencia de una muestra. A_s comprende la absorbancia de DPPH en presencia de la muestra

TEAC

Determinación fue realizada a través del método descrito a detalle por (Roa, 2012), con algunas modificaciones; fue preparada una solución de 25 mL con 96 mg de radical ABTS y 16.7 mg de persulfato de potasio, y aforada con agua destilada en un volumen de 25 mL; posteriormente fue almacenada en refrigeración por 16 h previo a su uso; para la lectura, se tomó 1 mL de la solución de trabajo leyendo la absorbancia de luz en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 734nm, posteriormente, fueron añadidos 10 µL del extracto, dejando actuar por 6 min para luego registrar la segunda lectura de absorbancia, y expresar los resultados en µmol Eq de Trolox

$$\text{mg Trolox/g muestra} = \text{mM Trolox} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{\text{Volumen de extracción (mL)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times FD$$

FRAP

Determinado a través del procedimiento descrito a detalle por (Roa, 2012), en donde se toma una solución de buffer de acetato de sodio a 300 nM; pH 3.6, solución de ácido clorhídrico 40 mM; solución de cloruro férrico 20 mM y una solución de TPTZ 10 mM, en donde se mezcla las soluciones de buffer de acetato de sodio, cloruro férrico y TPTZ en una proporción de 10:1:1 respectivamente y se deja en condiciones de oscuridad por aproximadamente 1 hora

Posteriormente se establece una curva de calibración con el estándar de Trolox entre 1 y 6 µmol, y se hace la lectura de absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 593 nm, expresando los resultados en µmol Eq de Trolox/ g de muestra

2.3 Resultados y discusión

Luego de correr el diseño experimental y de preparar las muestras, a continuación se presentan de manera detallada los resultados de la aplicación de las distintas pruebas fisicoquímicas descritas a detalle en el apartado de materiales y métodos, y se consideran las variaciones entre ellas, con el fin de determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas y/o establecer si estos cambios están dados o no en función de las operaciones de acondicionamiento, como el tiempo de escaldado y la temperatura de secado; posteriormente, y para un mejor entendimiento, se contrastan estos resultados con algunos hallazgos reportados previamente en literatura.

Humedad y actividad de agua

Tabla 2-2: Contenido de humedad y actividad de agua según los distintos tratamientos

Contenido de agua	Parámetros	
	Humedad (%)	Actividad de agua
Fresca	77.09 ± 3.60	0.95 ± 0.03
Secado a 50°C		
Escaldado por 0'	11.91 ± 1.07 ^{Ab}	0.35 ± 0.08 ^{Ab}
Escaldado por 8'	11.30 ± 0.44 ^{Ab}	0.33 ± 0.03 ^{Ab}
Escaldado por 15'	11.10 ± 0.22 ^{Ab}	0.33 ± 0.01 ^{Ab}
Escaldado por 30'	11.12 ± 0.18 ^{Ab}	0.32 ± 0.01 ^{Ab}
Secado a 60°C		
Escaldado por 0'	10.28 ± 0.28 ^{Aa}	0.24 ± 0.02 ^{Aa}
Escaldado por 8'	10.35 ± 0.35 ^{Aa}	0.28 ± 0.01 ^{Aa}
Escaldado por 15'	10.03 ± 0.29 ^{Aa}	0.26 ± 0.01 ^{Aa}
Escaldado por 30'	10.08 ± 0.11 ^{Aa}	0.26 ± 0.02 ^{Aa}
Secado a 70°C		
Escaldado por 0'	9.93 ± 0.12 ^{Aa}	0.19 ± 0.00 ^{Aa}
Escaldado por 8'	10.07 ± 0.47 ^{Aa}	0.23 ± 0.03 ^{Aa}
Escaldado por 15'	9.73 ± 0.01 ^{Aa}	0.23 ± 0.01 ^{Aa}
Escaldado por 30'	9.97 ± 0.33 ^{Aa}	0.24 ± 0.02 ^{Aa}
Muestras de referencia		
Muestra comercial de Perú	8.86 ± 0.03	0.41
Muestra comercial de India	8.68 ± 0.02	0.35

*Letras mayúsculas refieren a comparación estadística entre medias de tiempos de escaldado por vapor, mientras que, letras minúsculas refieren a comparativa entre medias de temperaturas de secado.

Según muestra la tabla 2-1, en parámetros de humedad y actividad de agua, las muestras se ubicaron en rangos de 9.93 ± 0.12 - 11.91 ± 1.07 % y 0.35 ± 0.08 - 0.19 ± 0.00 respectivamente, siendo estos dos parámetros estadísticamente influenciados por la temperatura de secado y no por los tiempos de pretratamiento térmico de escaldado, sin embargo, y aunque 50°C registra los valores más altos para los dos parámetros evaluados, todas las muestras resultan en un alimento seguro y cumplen con el parámetro de calidad de humedad para hierbas y especias, según el comité de contaminantes en alimentos, FAO/WHO (CODEX ALIMENTARIUS, 2016), al obtener valores de inferiores al 12% y asimismo valores de actividad de agua inferiores a 0.6.

Cinéticas y curvas de secado

El secado por aire caliente es una operación considerada como milenaria, sencilla y convencional de preservación de alimentos, particularmente en productos vegetales perecederos, estableciendo una serie de factores que pueden interferir en mayor o menor medida a través de pequeñas modificaciones dentro del proceso, impartiendo características sensoriales, preservando propiedades antioxidantes, o incluso la adición de pretratamientos, que puedan ayudar a generar un alimento microbiológicamente seguro, estable y/o aceptable, por lo que, conocer el comportamiento de remoción de agua, permite determinar la cinética de reacciones tanto químicas como enzimáticas, para, diseñar una línea de proceso capaz de beneficiar características fisicoquímicas como el color y el contenido de componentes bioactivos del producto (Prusinowska et al., 2015).

Figura 2-2: Curva de secado de rizomas laminados de cúrcuma a 50°C, con pretratamientos térmicos de escaldado con vapor por 8, 15, 30 min y sin tratamiento

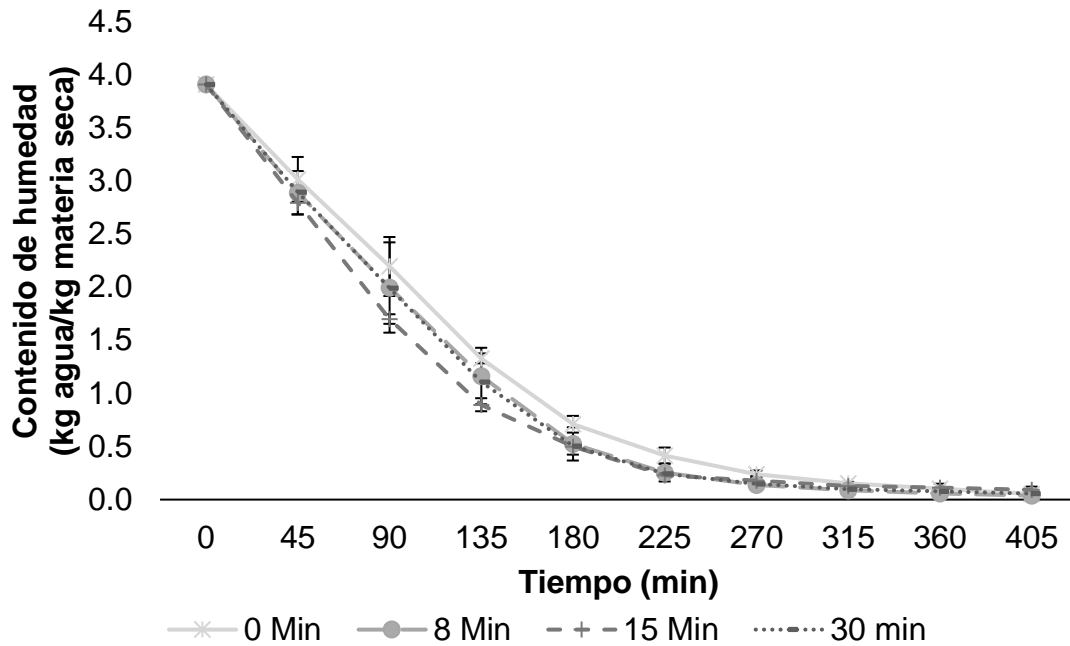


Figura 2-3: Curva de secado de rizomas laminados de cúrcuma a 60°C, con pretratamientos térmicos de escaldado con vapor por 8, 15, 30 min y sin tratamiento

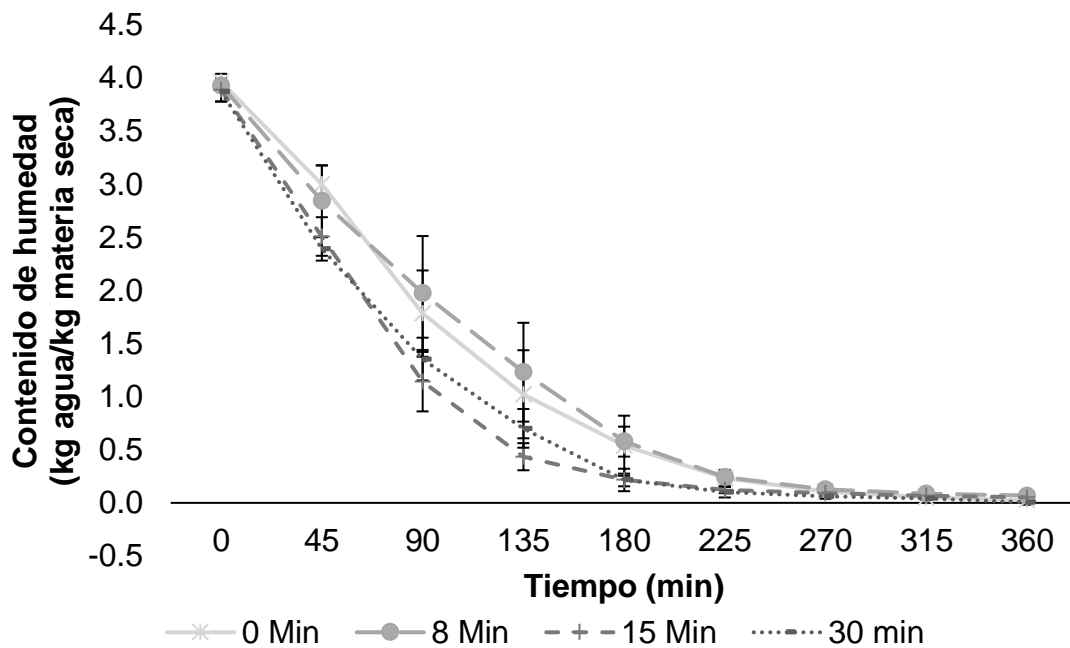
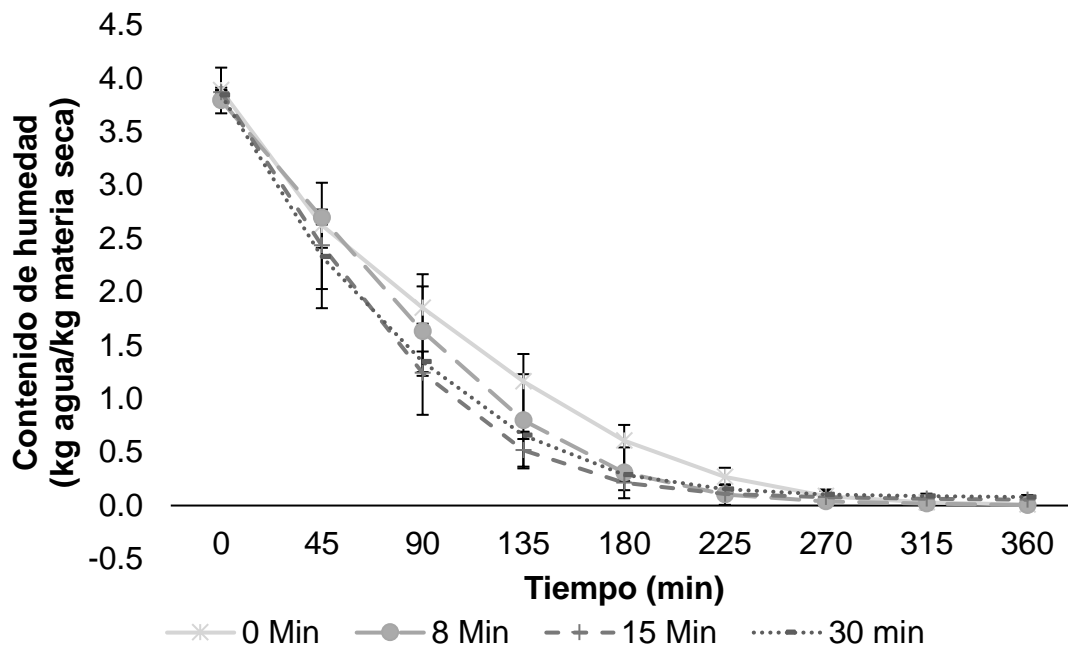


Figura 2-4: Curva de secado de rizomas laminados de cúrcuma a 70°C, con pretratamientos térmicos de escaldado con vapor por 8, 15, 30 min y sin tratamiento



El escaldado con vapor entonces adicional a la inactivación microbiana/enzimática, según muestran las figuras 2-1; 2-3, permite reducir los tiempos de secado, al gelatinizar el almidón y facilitar la permeabilidad de las membranas, favoreciendo así la transferencia de masa, sumado a la resistencia que puede generar la epidermis del rizoma, cuando no son laminados, frente a la migración constante de agua (Blasco et al., 2006; Singh et al., 2010).

Según se muestra en las figuras 2-1; 2-3, los tiempos de escaldado con vapor por 15 min, en las tres temperaturas de secado (50, 60 y 70°C) registraron una mayor velocidad de pérdida de masa en comparación con los demás pretratamientos, reflejando así, que tiempos de escaldado prolongados como 30 min, no brindan mayor grado de eficacia frente a este parámetro, y sí involucra mayor uso de tiempo y energía; para el caso del tratamiento control, sin escaldado con vapor, resulta en una práctica que toma la mayor cantidad de tiempo de deshidratación, al tomar como referencia la trazabilidad de alcance de peso constante.

Según los reportes de (Oke et al., 2020), secar a distintas temperaturas y a distintos tiempos, no tiene un efecto significativo sobre la composición nutricional de la cúrcuma, sin embargo, esta operación puede generar reacciones de autooxidación de grasas,

desnaturalización de proteínas, cristalización de fibras, pérdida de aceites esenciales, vitaminas y pigmentos (Prusinowska et al., 2015). Distintas temperaturas de secado sí influyen de manera directa sobre factores fisicoquímicos, temperaturas entre 55 y 60°C resultan en condiciones favorables para factores de calidad como el color, contenido de oleorresina e incluso rendimiento de cúrcuma (Ravindran et al., 2007; Singh et al., 2010).

Análisis proximal

Tabla 2-3: Composición proximal del polvo de cúrcuma orgánica proveniente del departamento de Vichada, Colombia.

Composición proximal	
Humedad (%)	9,7 ± 0,8
Cenizas (%)	5,8 ± 0,7
Proteína (%)	7,6 ± 0,8
Grasa (%)	4,7 ± 2,1
Fibra (%)	
<i>Fibra insoluble</i>	36,2 ± 2,3
<i>Fibra soluble</i>	0,95 ± 0,2
Calcio (mg/100g)	173 ± 2,8
Magnesio (mg/100g)	287 ± 1,1
Potasio (mg/100g)	1826 ± 3,9
Hierro (mg/100g)	32,7 ± 2,9
Zinc (mg/100g)	0,5 ± 1,1
Sodio (mg/100g)	187,3 ± 0,5

Según los valores registrados en literatura, por (Ajenu et al., 2021; Braga et al., 2003; de Oliveira Filho et al., 2021; Henry et al., 2020; Restrepo-Osorio et al., 2020; Ríos-V et al., 2009) y puestos en mención en la tabla 1-1, el porcentaje de contenido de fibra fue significativamente menor en todos los estudios citados, en comparación con lo encontrado en la muestra proveniente de Vichada, (Colombia), lo cual puede deberse a la presencia de la epidermis del rizoma, que para efectos de este estudio no fue removida, mientras que, suele ser removida a través de procedimientos como el polinchado en países del sudeste asiático.

La composición proximal del rizoma depende en gran parte de factores botánicos y geográficos, y edafológicos; la revisión bibliográfica muestra una alta variación frente a la composición entre autores referenciados con una influencia innata, a partir de su posición geográfica y origen botánico, y no de su método de procesamiento (Oke et al., 2020).

Asimismo, y según registró (Restrepo-Osorio et al., 2020) luego de evaluar la composición proximal de muestras de cúrcuma en Colombia, en distintos tipos de suelos, orgánicos y fertilizados, no es posible establecer una correlación frente a la influencia del tipo de suelo utilizado y su composición proximal, siendo variables independientes, e influenciadas por otros factores como el tipo de suelo, nutrientes disponibles, clima, y/o etapa de madurez del rizoma (Ray et al., 2022). Alrededor del cultivo de cúrcuma, el uso de suelos ricos en materia orgánica resulta beneficioso independientemente que sea exclusivamente compuesto por ello, mientras que una combinación con fertilizantes inorgánicos, puede ayudar a mejorar el rendimiento (Ravindran et al., 2007).

Características físicas

Color

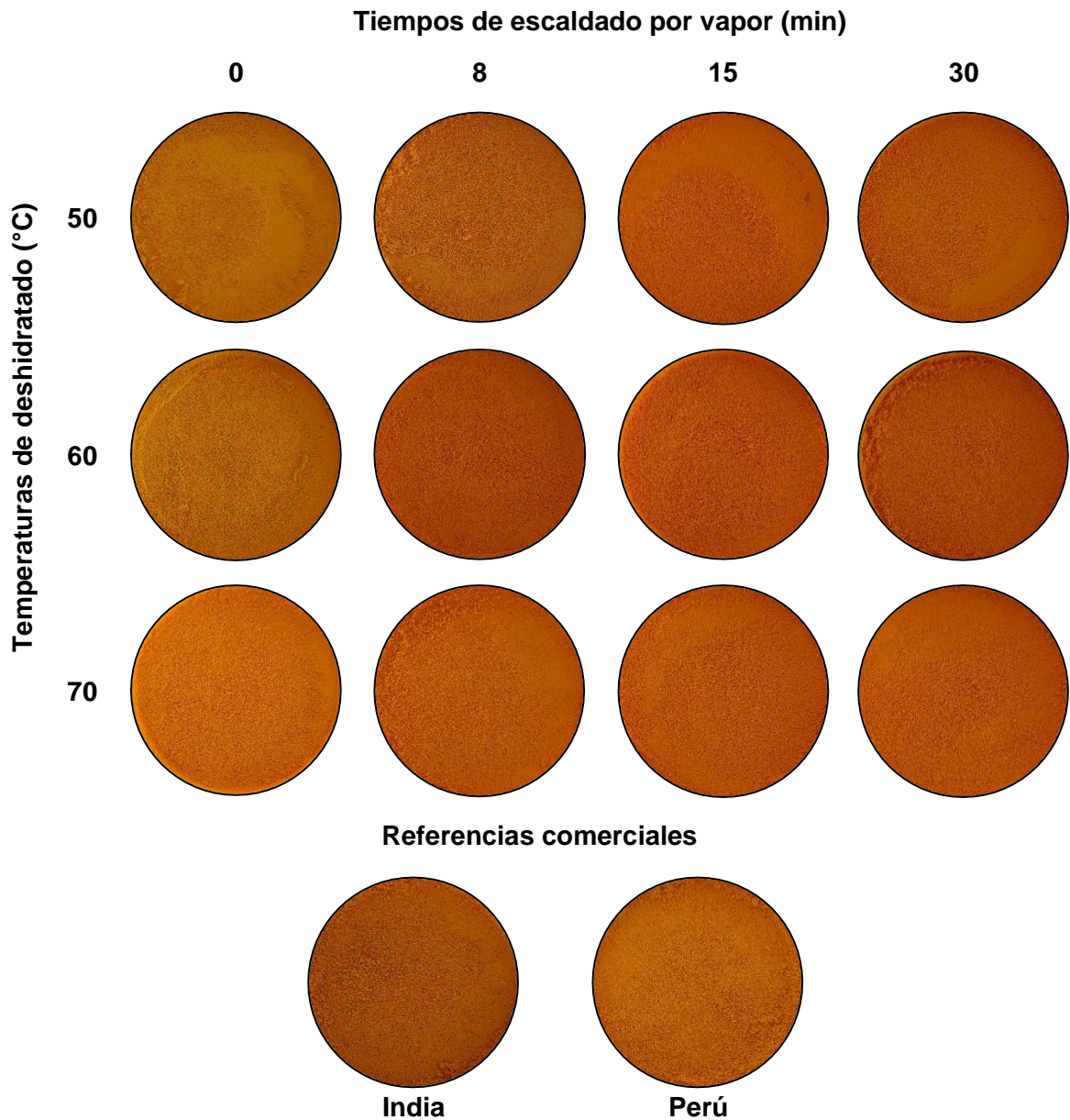
Tabla 2-4: Coordenadas colorimétricas en el espacio CIE L*a*b* según los tratamientos y pretratamientos

Tratamiento	Coordenadas CIE L*a*b*					
	L*	a*	b*	ΔE^*	Croma	Tono
Fresca	60.27 ± 0.58	36.87 ± 0.46	62.39 ± 2.70	0	72.47 ± 1.02	1.04 ± 0.03
Secado a 50°C						
Escaldado por 0'	66.63 ± 0.52	23.71 ± 0.30	83.77 ± 0.15	25.90 ± 0.29 ^{Ba}	87.06 ± 0.16 ^{Ba}	1.29 ± 0.00 ^{Ba}
Escaldado por 8'	60.57 ± 0.99	29.65 ± 1.05	77.31 ± 1.53	16.58 ± 2.18 ^{Aa}	82.80 ± 1.14 ^{Aa}	1.20 ± 0.02 ^{Aa}
Escaldado por 15'	60.88 ± 1.04	29.77 ± 0.55	76.09 ± 1.36	15.44 ± 1.52 ^{Aa}	81.70 ± 1.02 ^{Aa}	1.20 ± 0.01 ^{Aa}
Escaldado por 30'	60.20 ± 0.46	30.02 ± 0.68	76.69 ± 0.27	15.86 ± 0.53 ^{Aa}	82.35 ± 0.14 ^{Aa}	1.20 ± 0.01 ^{Aa}
Secado a 60°C						
Escaldado por 0'	65.41 ± 0.73	24.47 ± 0.80	81.60 ± 0.64	23.44 ± 0.81 ^{Ba}	85.19 ± 0.35 ^{Ba}	1.28 ± 0.00 ^{Ba}
Escaldado por 8'	61.08 ± 0.31	29.45 ± 0.05	76.31 ± 0.37	15.80 ± 0.01 ^{Aa}	81.80 ± 0.01 ^{Aa}	1.20 ± 0.00 ^{Aa}
Escaldado por 15'	60.83 ± 0.62	29.58 ± 1.03	77.65 ± 1.39	16.92 ± 2.17 ^{Aa}	83.09 ± 1.17 ^{Aa}	1.21 ± 0.02 ^{Aa}
Escaldado por 30'	63.75 ± 3.60	27.44 ± 1.77	80.82 ± 4.66	20.99 ± 7.00 ^{Aa}	85.35 ± 4.94 ^{Aa}	1.24 ± 0.04 ^{Aa}
Secado a 70°C						
Escaldado por 0'	67.25 ± 0.25	24.58 ± 1.37	84.34 ± 0.82	26.1 ± 0.05 ^{Ba}	87.85 ± 1.47 ^{Ba}	1.29 ± 0.01 ^{Ba}
Escaldado por 8'	63.32 ± 0.41	27.61 ± 0.75	79.97 ± 0.42	20.10 ± 0.60 ^{Aa}	84.60 ± 0.05 ^{Aa}	1.24 ± 0.01 ^{Aa}
Escaldado por 15'	62.42 ± 0.31	27.92 ± 0.31	77.44 ± 0.20	17.65 ± 0.13 ^{Aa}	82.32 ± 0.14 ^{Aa}	1.22 ± 0.00 ^{Aa}
Escaldado por 30'	61.37 ± 0.42	28.11 ± 0.32	76.72 ± 1.32	16.84 ± 1.59 ^{Aa}	81.71 ± 1.38 ^{Aa}	1.22 ± 0.00 ^{Aa}
Referencias comerciales						
Perú	54.11 ± 0.10	20.75 ± 0.14	72.48 ± 0.97	19.99 ± 0.02	75.39 ± 0.05	1.29 ± 0.00
India	53.49 ± 3.75	20.79 ± 0.14	71.54 ± 0.61	19.71 ± 0.03	74.50 ± 0.03	1.29 ± 0.01

Letras mayúsculas refieren a comparación estadística entre medias de tiempos de vaporizado, mientras que, letras minúsculas refieren a comparativa entre medias de temperaturas de secado.

*Valores de ΔE fueron determinados como cambios en comparativa con la muestra fresca.

Figura 2-5: Aspecto físico de las muestras del polvo de cúrcuma según los pretratamientos y las temperaturas de secado



Según muestra la tabla 2-4, ninguna condición de proceso afectó el parámetro de luminosidad (L^*) en comparación con la muestra fresca, ubicándose en un rango que oscila entre 61.08 ± 0.31 y 67.25 ± 0.25 en donde el tratamiento control o sin escaldado, resultó ser quien logró favorecer esta escala. Considerando las tres muestras vaporizadas (8, 15 y 30 min), no hubo diferencia significativa de cambio en su luminosidad, así como no fue posible establecer una relación progresiva frente al tiempo de escaldado por vapor y la

disminución en el valor de L^* , siendo impactada en la misma medida por el tratamiento y no por el tiempo de aplicación, fenómeno al que (Korese & Nyame, 2023) calificó como impacto adverso sobre la tonalidad de la muestra.

Muestras tratadas térmicamente previo al secado tendieron a desarrollar colores más rojizos, mostrando valores con mayor tendencia a positivos dentro de la escala a^* ubicados en rangos entre 23.71 ± 0.30 y 30.02 ± 0.68 , mientras que y para el caso de los tratamientos que no fueron escaldados, su valor tendió a ser menor; para la escala b^* , la aplicación de escaldado con vapor refleja un impacto estadísticamente similar para los tratamientos, sin distinguir entre la prolongación del tiempo de tratamiento, registrando valores entre 76.09 ± 1.36 y 84.34 ± 0.82 , en donde los valores más cercanos a 100 corresponden a las muestras sin pretratamiento térmico.

Para el caso de los valores de ΔE fueron los tratamientos sin acondicionamiento térmico o escaldado con vapor, quienes tendieron a cambiar más en comparación con la muestra fresca, con valores que oscilan entre 23.44 ± 0.81 y 26.1 ± 0.05 , mientras que, y para el caso de las muestras con aplicación de tratamientos térmicos por distintos tiempos (8, 15 y 30), su ΔE resultó ser menor ubicándose entre 15.44 ± 1.52 y 20.99 ± 7.00 , y registrando cambios en las tres escalas L^* , a^* y b^* , en donde muestras sin tratamiento térmico tendieron a colores más luminosos y amarillos y muestras con tratamientos térmicos resultaron en tonalidades más rojizas – amarillas.

Para el caso del tono y el croma, muestras sin tratamiento térmico tendieron a obtener valores más altos, los cuales están asociados con coloraciones más saturadas y brillantes, mientras que, escaldar con vapor las muestras resulta impactar con una ligera reducción estadísticamente percibida como significativa, frente a la percepción de saturación y brillo.

Asimismo, el análisis estadístico de las muestras identificó que no hay interacción entre los distintos tratamientos térmicos en comparación con las distintas temperaturas de secado, atribuyendo las diferencias significativas de color al escaldado por vapor y no a las temperaturas de secado.

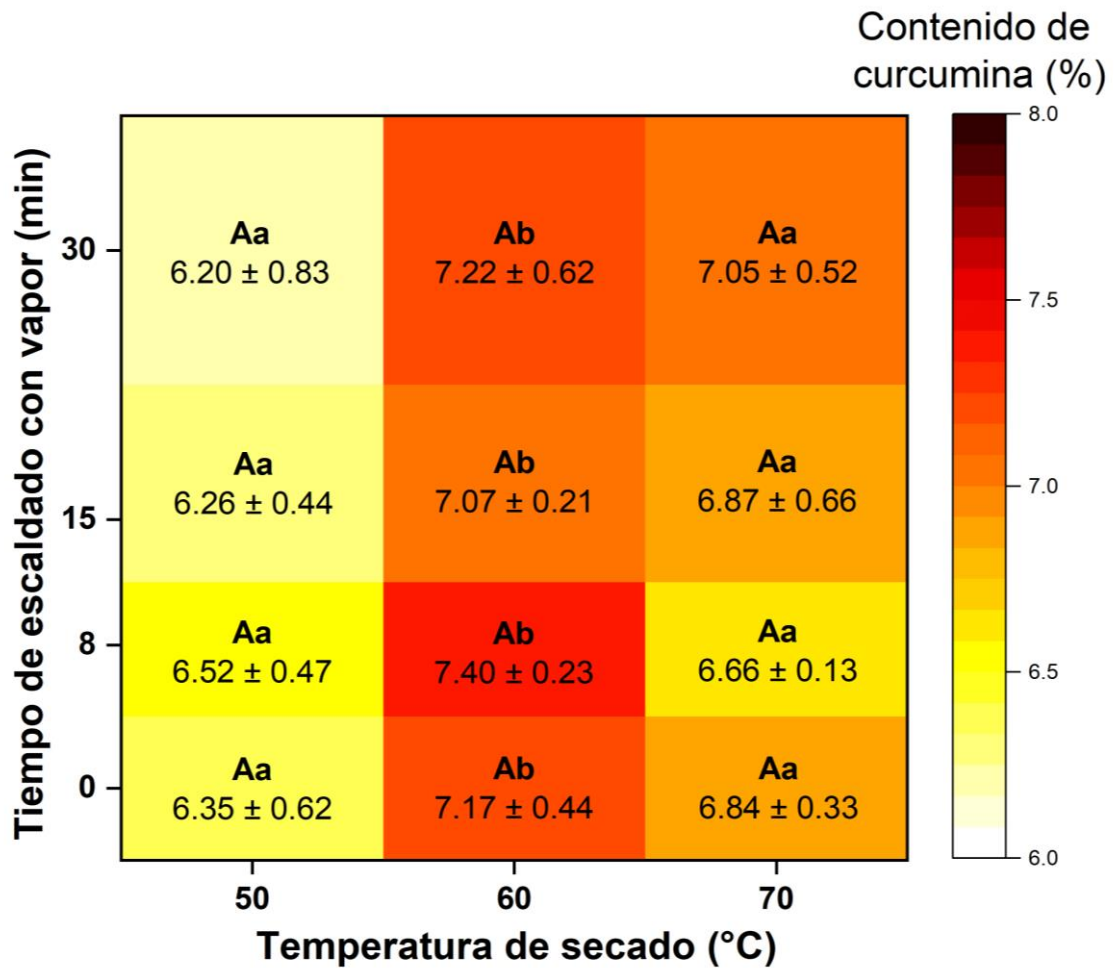
Para el caso de muestras comerciales, resultaron productos con menor saturación y brillo al registrar valores inferiores en las tres escalas ($L^*a^*b^*$) en comparación a los registrados con las muestras evaluadas provenientes del departamento de Vichada, siendo productos menos luminosos, menos rojizos y asimismo menos amarillentos.

Análisis de componentes bioactivos

Contenido de curcumina

Según el análisis químico de las muestras, fueron evaluados distintos componentes bioactivos como la curcumina y los compuestos fenólicos bajo una combinación de tratamientos como los térmicos previos al secado y las distintas temperaturas de deshidratado, logrando configurar variaciones en estos dos componentes

Figura 2-6: Comparación de contenido de curcumina en rizomas de cúrcuma orgánica provenientes de Vichada según las distintas condiciones de procesamiento.



*Letras mayúsculas refieren a comparación estadística entre medias de tiempos de vaporizado, mientras que, letras minúsculas refieren a comparativa entre medias de temperaturas de secado.

Tabla 2-5: Componentes bioactivos en muestras comerciales de cúrcuma en polvo

Muestra comercial	Componentes bioactivos	
	Curcumina (%)	Compuestos fenólicos totales (mg Eq A.G/g muestra)
Perú	1.74 ± 0.11	17.98 ± 0.46
India	1.59 ± 0.16	18.96 ± 1.45

Según muestra la figura 2-6, el contenido de curcumina entre muestras varió en función de las distintas operaciones de acondicionamiento de escaldado por vapor (0, 8, 15 y 30 min) y temperaturas de secado (50, 60 y 70°C), ubicando los valores en un rango entre 6.20 ± 0.83 y $7.40 \pm 0.23\%$; tratamiento de secado a 60°C, favorece en mayor medida la presencia de esta molécula bioactiva, mientras que, temperaturas de secado como 50°C, resultó ser la condición que favorece en menor medida la presencia de este componente. Adicionalmente, y según el análisis estadístico, distintos tiempos de escaldado no influyen frente a la concentración de curcumina, estableciendo entonces la relación de efectos del procesamiento sobre su concentración, directamente con la temperatura de secado. Escaldado con vapor por 8 min, y secado a 60°C, resultó la combinación de operaciones que mayor capacidad de retención de curcumina obtuvo.

Asimismo, y en comparación con las muestras comerciales de referencia provenientes de Perú e India, según se observa en la tabla 2-5, las muestras de cúrcuma orgánica proveniente del departamento de Vichada, logran configurar un producto capaz de brindar hasta 4.6 veces mayor concentración de curcumina, abriendo la posibilidad de brindar un producto con mayor potencial colorante/farmacológico, capaz de competir con una gran ventaja en el mercado tanto nacional como internacional, frente a productos con trasfondos de estas calidades.

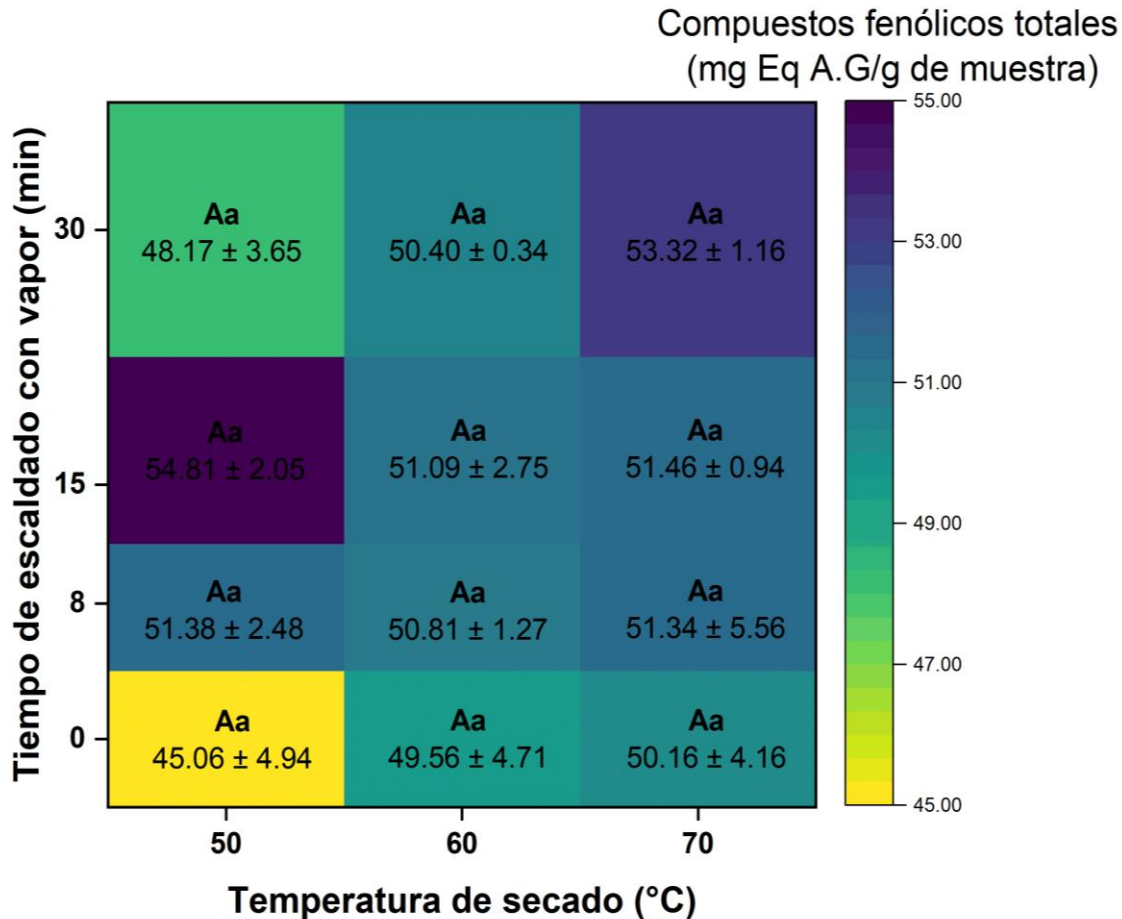
Los valores de curcumina identificados para las muestras provenientes del departamento de Vichada se encuentran ligeramente superiores dentro de los rangos reportados en literatura (2.1 y 6%), asimismo, estos registros coinciden en donde 70°C o temperaturas superiores no resultan en una condición favorable para la retención de curcumina (Jeevarathinam et al., 2021; Raza et al., 2018), así como tampoco lo son tiempos largos de tratamiento térmico, particularmente los superiores a 60 min (Ettannil & Zachariah, 2016; Raza et al., 2018).

Por lo que, y en contraste con los hallazgos descritos en la tabla 1-3, distintos autores como (Charoenchai et al., 2020; Jeevarathinam et al., 2021; Raza et al., 2018; Salata et al., 2022) registraron que procesos de secado por aire caliente a temperaturas entre 50 y 80°C, con distintos tratamientos previos al secado como el escaldado, escaldado por vapor o sin escaldado, así como cambios en su geometría a través del laminado, no resultan generar mayores variaciones en el contenido de curcumina, a excepción de temperaturas de secado tan altas como 90°C que realmente logran afectar su concentración (Raza et al., 2018) así como temperaturas entre 55 y 60°C realmente resultan favorecer su concentración (Jeevarathinam et al., 2021; Raza et al., 2018).

Al exponer la curcumina a temperaturas cercanas a 70°C por periodos de tiempos de 10 min, el compuesto se muestra estable en cuanto a factores de degradación, sin embargo, y superada esta temperatura, la curcumina se empieza a degradar; asimismo, y al ser sometido el compuesto a procesos de ebullición, por tiempos determinados de 10 y 20 min, presentan una reducción aproximada del 27 y 32% respectivamente (Suresh et al., 2007); mientras que después de 10 min de ebullición en un autoclave a 15 PSI, la curcumina presentó una reducción cercana al 53% en comparación con el valor inicial, relacionando mayores temperaturas con mayor pérdida de curcumina (Lestari & Indrayanto, 2014)

Compuestos fenólicos totales

Figura 2-7: Comparación de contenido de compuestos fenólicos totales en rizomas de cúrcuma orgánica provenientes de Vichada según las distintas condiciones de procesamiento.



**Letras mayúsculas refieren a comparación estadística entre medias de tiempos de vaporizado, mientras que, letras minúsculas refieren a comparativa entre medias de temperaturas de secado.*

Frente a la presencia de compuestos fenólicos, tanto los distintos tratamientos térmicos previos al secado como las distintas temperaturas de deshidratado resultaron no evidenciar una tendencia clara frente a su comportamiento, estadísticamente registrando la una respuesta similar o sin distinguir el impacto que tienen la aplicación de estas condiciones, registrando rangos de concentración entre 45.06 ± 4.94 y 54.81 ± 2.05 mg Eq A.G/g de muestra. Temperaturas de secado como 60 y 70°C lograron mostrar resultados con diferencias relativamente minúsculas, sin embargo, el impacto del procesamiento

sobre los compuestos fenólicos estadísticamente resulta ser en la misma proporción, siendo su variación indiferente frente a las condiciones de proceso aplicadas.

Los valores registrados se ubican dentro de los rangos reportados previamente por (Chumroenphat et al., 2021; Nisar et al., 2015), los cuales comprenden desde 30.0 hasta 74.7 mg Eq A.G/g muestra. En comparación con las muestras de referencia, la cúrcuma orgánica proveniente de Vichada obtuvo hasta 3.0 veces más compuestos fenólicos, haciendo un producto funcionalmente más interesante y reafirmando el potencial que posee este producto frente a las muestras convencionales en el mercado.

(Yang et al., 2020) establece un perfil de compuestos fenólicos presentes en cúrcuma, en donde los curcuminoides son los que se encuentran en mayor proporción, seguido del ácido gálico (781 ± 5.18 mg/100g), quercetina (2746.2 mg/kg), ácido protocatequico (33.1 ± 1.87 mg/100g), y así consecutivamente en proporciones inferiores, con ácido ferúlico, epicatequina, ácido clorogénico, cumarina, catequina, ácido cinámico, y quecercetina como el de menor presencia, registrando 4.78 ± 0.83 mg/100g.

Actividad antioxidante

Tabla 2-6: Impacto en respuesta de capacidad antioxidante según las condiciones de procesamiento y las muestras de referencia

Operaciones de acondicionamiento	Componentes bioactivos		
	Actividad Antioxidante ($\mu\text{mol Eq Trolox/g muestra}$)		
	DPPH	TEAC	FRAP
Secado a 50°C			
Escaldado por 0'	$176.19 \pm 13.78^{\text{Aa}}$	$115.31 \pm 13.72^{\text{Aa}}$	$134.81 \pm 9.65^{\text{Aa}}$
Escaldado por 8'	$159.07 \pm 7.70^{\text{Aa}}$	$149.16 \pm 17.60^{\text{Aa}}$	$130.09 \pm 9.98^{\text{Aa}}$
Escaldado por 15'	$162.32 \pm 4.76^{\text{Aa}}$	$132.65 \pm 18.90^{\text{Aa}}$	$120.11 \pm 5.66^{\text{Aa}}$
Escaldado por 30'	$172.35 \pm 31.8^{\text{Aa}}$	$126.16 \pm 38.91^{\text{Aa}}$	$126.20 \pm 5.56^{\text{Aa}}$
Secado a 60°C			
Escaldado por 0'	$158.97 \pm 4.00^{\text{Aa}}$	$133.72 \pm 16.21^{\text{Aa}}$	$130.71 \pm 16.40^{\text{Aa}}$
Escaldado por 8'	$135.58 \pm 44.38^{\text{Aa}}$	$134.35 \pm 16.67^{\text{Aa}}$	$124.48 \pm 22.48^{\text{Aa}}$
Escaldado por 15'	$173.70 \pm 55.56^{\text{Aa}}$	$139.03 \pm 8.40^{\text{Aa}}$	$115.46 \pm 11.24^{\text{Aa}}$
Escaldado por 30'	$159.07 \pm 7.47^{\text{Aa}}$	$111.53 \pm 30.33^{\text{Aa}}$	$121.53 \pm 11.65^{\text{Aa}}$
Secado a 70°C			
Escaldado por 0'	$146.54 \pm 9.32^{\text{Aa}}$	$108.25 \pm 25.08^{\text{Aa}}$	$131.42 \pm 5.80^{\text{Aa}}$
Escaldado por 8'	$151.90 \pm 4.13^{\text{Aa}}$	$125.25 \pm 25.50^{\text{Aa}}$	$126.24 \pm 19.29^{\text{Aa}}$
Escaldado por 15'	$158.77 \pm 3.53^{\text{Aa}}$	$136.95 \pm 10.24^{\text{Aa}}$	$116.82 \pm 12.58^{\text{Aa}}$
Escaldado por 30'	$157.74 \pm 11.68^{\text{Aa}}$	$122.98 \pm 26.46^{\text{Aa}}$	$146.18 \pm 15.42^{\text{Aa}}$

Referencias comerciales			
Perú	26.90 ± 5.24	64.90 ± 5.52	85.06 ± 12.29
India	42.22 ± 5.27	68.21 ± 8.96	46.71 ± 6.66

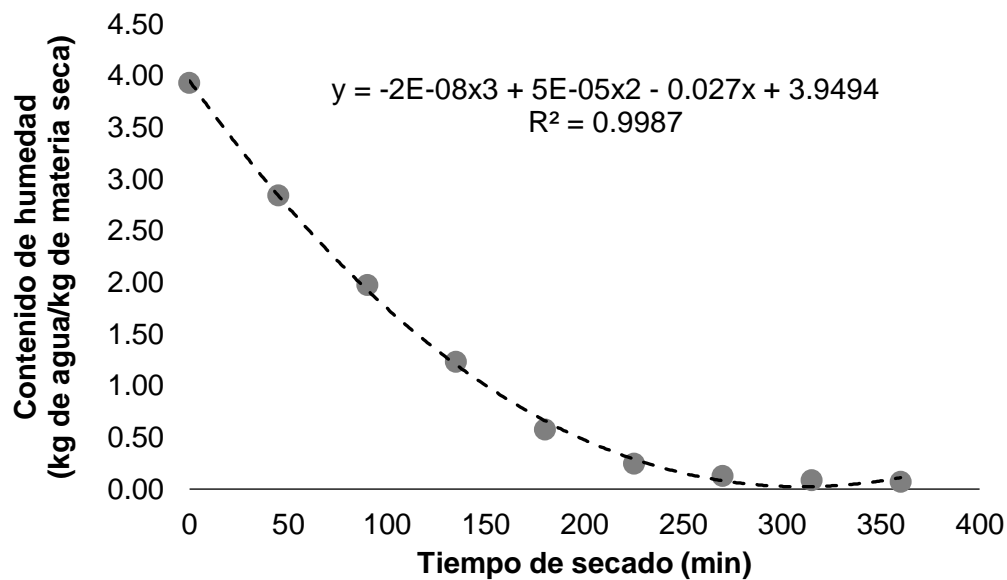
**Letras mayúsculas refieren a comparación estadística entre medias de tiempos de escaldado con vapor, mientras que, letras minúsculas refieren a comparativa entre medias de temperaturas de secado.*

Asimismo, y como respuesta de actividad biológica frente a la presencia de sus componentes bioactivos, la capacidad antioxidante no se ve afectada según la combinación de los tratamientos de manera significativa estadísticamente.

2.3.1 Criterios de selección de un tratamiento y comportamiento de distintos parámetros fisicoquímicos a través del secado

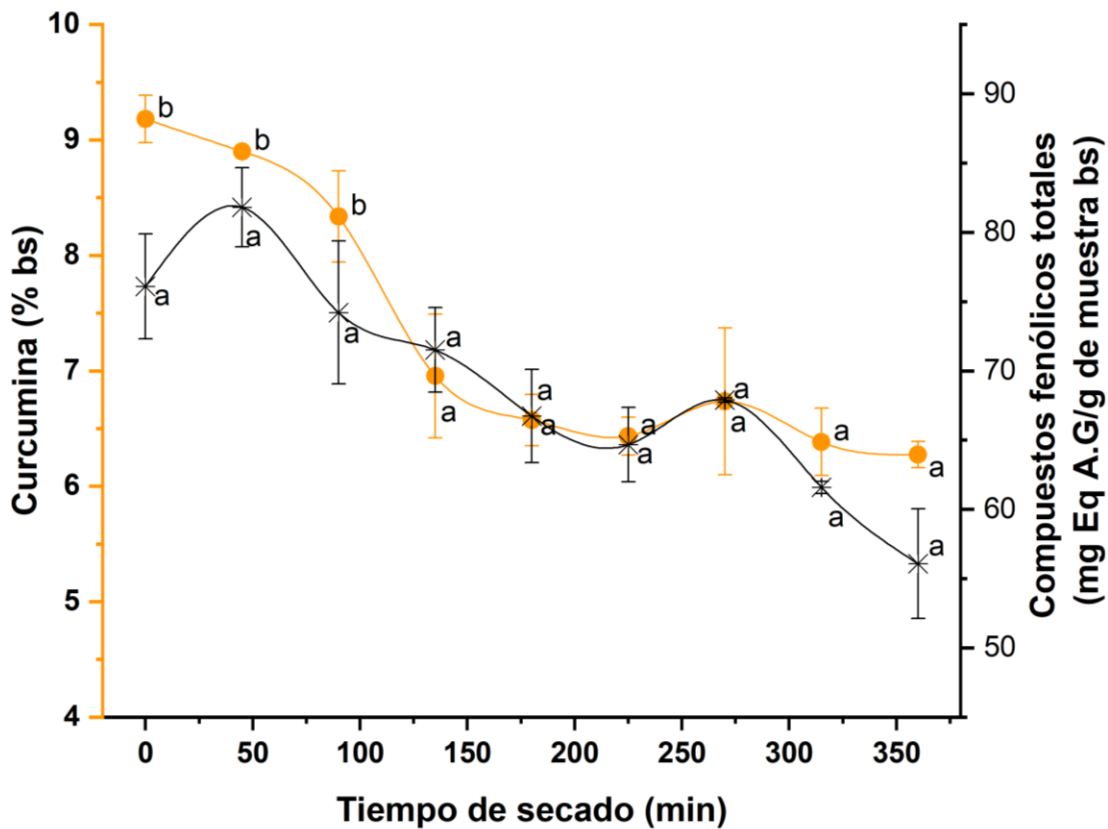
Luego de la compilación de los datos y la ejecución del análisis estadístico, 8 min de escaldado por vapor y secado a 60°C resultó ser la condición que favoreció en mayor medida el contenido de curcumina, registrando una concentración de 7.40 ± 0.23 , sin embargo, y aunque no haya sido el tratamiento que benefició en mayor medida la concentración de compuestos fenólicos ni su actividad antioxidante, este tratamiento resultó ser la segunda condición con menor afectación frente al cambio de coloración a través de las operaciones de secado y en comparación con la muestra fresca, registrando un valor de ΔE de 15.44 ± 1.52 en comparación con el escaldado con vapor por 15 min y secado a 50°C, quien fue la condición que obtuvo menor valor de ΔE (15.80 ± 0.01).

Figura 2-8: Modelamiento del comportamiento de pérdida de masa a través del secado



Para el caso de la determinación del comportamiento de pérdida de masa, luego de tomar los datos de manera experimental, y presentarlos gráficamente en función del tiempo de secado, es posible precisar que este comportamiento se ajusta a un modelo polinomial de tercer grado, en el que los puntos representan los datos tomados de manera experimental y la línea, la tendencia del modelo, alcanzando un valor de ajuste en el R^2 hasta de 0.998, mostrando variaciones en el contenido de humedad desde 3.93 hasta 0.06 kg de agua/kg de materia seca, luego de transcurrir 360 min a 60°C

Figura 2-9: Cambios en la concentración de Curcumina (CUR) y Compuestos Fenólicos Totales (CFT) en rizomas de cúrcuma a través del secado



*Letras minúsculas refieren a comparación estadística entre medias de valores registrados durante el tiempo de secado.

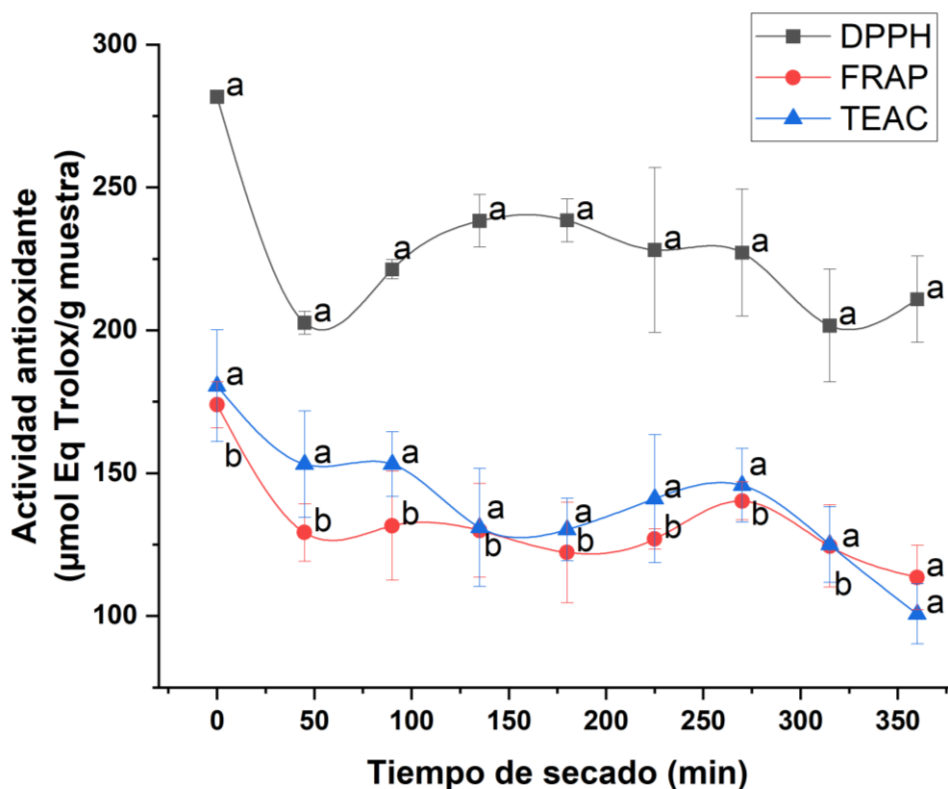
Según muestra la figura 2-9, el contenido de curcumina tiende a disminuir en función del tiempo y la temperatura, hasta alcanzar una diferencia significativa estadísticamente, trascurridos 135 min de secado a 60°C, siendo una sustancia de baja estabilidad, capaz de seguir patrones de degradación, que resultan en la formación de metabolitos secundarios como ácido ferúlico y vanilina, como efecto de la exposición a más de 50°C (Komonsing, Reyer, et al., 2022; Siddiqui, 2015); sin embargo, distintos estudios afirman que estos productos de degradación, particularmente la vanilina y el ácido ferúlico pueden poseer propiedades antimicrobianas, antiarrítmicas, antitrombóticas, anticancerígenas y antioxidantes, por lo que, aun sufriendo procesos de degradación, su alcance funcional no debería verse afectado en gran medida (Racz et al., 2022).

Pasados los 360 min de proceso de secado y observando el comportamiento de degradación de la curcumina, es posible deducir que hay una reducción de un 31.86%, siendo valores similares a los reportados por (Siddiqui, 2015), quien obtuvo una reducción hasta del 47.00% al exponer su muestra a temperaturas de 50 y 70°C, dando lugar entonces, a la formación de vanilina en un 17.00% y ácido ferúlico en un 9.00%, siendo el procesamiento capaz de reducir los curcuminoides entre un 27.00 y un 53.00% dependiendo de la intensidad en tiempo de tratamientos térmicos y las temperaturas (Suresh et al., 2007), siendo este fenómeno no solo atribuido a las operaciones de procesamiento sino también al medio en el cual se encuentra la molécula disuelta (Siddiqui, 2015).

En cuanto al contenido de compuestos fenólicos totales (CFT), la temperatura induce una degradación al ser este grupo de moléculas ligeramente sensibles al calor (Chumroenphat et al., 2021) luego de evaluar el impacto del procesamiento sobre una muestra fresca, demostró que estos componentes son afectados de manera significativa según distintos tratamientos como el secado por aire caliente, liofilizado y secado solar de manera progresiva, con reducciones superiores al 35%, reporte similar al (de Oliveira Filho et al., 2021), quien encontró una reducción del 42%, sumado a la pérdida de compuestos volátiles y a la degradación de pigmentos, mientras que, y para efectos de este estudio, los compuestos fenólicos presentaron una reducción cercana al 26.31%, al comparar el último registro con el primero.

El contenido de estos dos componentes bioactivos se ven no solo influenciados por el secado, sino también por operaciones térmicas domésticas frecuentes posterior al procesamiento, como la cocción, cocción + presión o incluso el microondas, que resultan interfiriendo en menor o mayor medida de degradación (Cortez et al., 2020)

Figura 2-10: Cambios en la respuesta de métodos de capacidad antioxidante (DPPH, FRAP, TEAC) en rizomas de cúrcuma a través del secado



**Letras minúsculas refieren a comparación estadística entre medias de valores registrados durante el tiempo de secado.*

Para el caso de la capacidad antioxidante, y según registra la figura 2-10, estadísticamente no existe una diferencia significativa como efecto de pérdida en la respuesta a través del secado para los métodos DPPH y FRAP, mientras que, y para el caso del método TEAC, su última lectura fue considerada como una disminución significativa estadísticamente, pasados 360 min de secado.

Adicionalmente y aunque la curcumina sea un polifenol antioxidante, existe una estrecha relación entre la cantidad de compuestos fenólicos presentes y la capacidad antioxidante, lo cual podría explicar la razón de que hubo un decrecimiento significativo en el contenido de curcumina, pero no en la capacidad antioxidante, llegando a asociar en mayor medida la respuesta con los compuestos fenólicos (Maizura et al., 2011), que adicionalmente se encuentran presentes en el epicarpio o epidermis del rizoma (Yang et al., 2020)

2.4 Conclusiones

La industria de alimentos y nutraceútica demandan productos seguros, estables y de calidad, por lo que, conocer el impacto de las operaciones de transformación sobre las características fisicoquímicas del producto, permite obtener un mejor manejo de producto, basados en los requerimientos y necesidades de su demanda.

Buenas prácticas y condiciones adecuadas de secado permiten establecer una operación que favorezca los compuestos bioactivos presentes en cúrcuma como la curcumina, fenoles, terpenoides o sencillamente sobre características físicas como el color, tamaño de partícula, y/o contenido de humedad.

Operaciones de secado a 60°C y escaldado con vapor por 8 min, resultan ser la combinación de tratamientos que favorecen en mayor medida el contenido de curcumina, mientras que temperaturas de secado como 50 y 70°C resultan favorecer más las coordenadas colorimétricas, obteniendo tonos más luminosos, así como mayores tiempos de escaldado por vapor no son condiciones que afecten en mayor medida la concentración de esta molécula cromófora; para el caso de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos totales, no hubo diferencia estadística en la combinación de tratamientos, resultando indiferente el tratamiento seleccionado en función del comportamiento de su capacidad antioxidante.

Finalmente, y partiendo de las premisas frente al comportamiento de los componentes bioactivos, escaldar los rizomas aparte de reducir su carga microbiana e inactivar enzimas, brinda un producto más rojizo, menos luminoso, pero con mayor rapidez de pérdida de masa, hasta alcanzar valores inferiores al 12% de humedad, mientras que, no escaldar los rizomas puede llegar a extender el tiempo de secado, pero genera un producto más luminoso y amarillento.

3. Capítulo 3 – Colorantes amarillos

3.1 Introducción

El uso de plantas en culturas ancestrales ha estado relacionado con beneficios a la salud, registrando reportes en textos ayurvédicos (1000 A.C), analectas chinos (500 A.C) y nativos Indios Americanos (aztecas, mayas e Incas), un poder de conexión no solo religioso, sino medicinal, y que gracias a distintos estudios, se les ha otorgado una fundamentación y explicación de sus capacidades, atribuidas a distintas biomoléculas particularmente cromóforas, como las de mayor beneficio a la salud, siendo entonces ingrediente con un gran potencial funcional (Delgado-Vargas & Paredes-Lopez, 2002).

En tiempos modernos, los colorantes juegan un rol crucial, siendo aditivos que no solo influyen sobre parámetros de calidad como la percepción sensorial de los alimentos, sino que son asociados con la salud y el bienestar que le pueden brindar a los consumidores, sin embargo, en alimentos estos colorantes no necesariamente buscan pigmentaciones saturadas o concentraciones altas, sino hacer productos aparentemente más estéticos, cubrir la variación de la coloración natural del producto, reemplazar las pérdidas generadas por el procesamiento o por prolongar la estabilidad de un producto (Rovina et al., 2017).

Industrias de alimentos a nivel global han dado prioridad entonces a moléculas cromóforas sintéticas como insumo pigmentario, debido a su bajo costo en el mercado, su alta estabilidad, disponibilidad e independencia frente a la disponibilidad agrícola, dando lugar a sustancias sintéticas como la tartrazina (E102), amarillo quinolina (WS E104), amarillo sunset (FCFE110), carmosina (E122), y rojo allura (AC E129), pasando inadvertidos los llamados frente a las restricciones que han puesto autoridades internacionales relacionadas con la salud y los alimentos, debido a que, y luego de su uso desmesurado, estos colorantes artificiales fueron asociados con efectos alergénicos, reacciones tóxicas, y así como su relación con un incremento en la hiperactividad en niños (Sigurdson et al.,

2017), haciendo que industrias migren hacia alternativas con menores impactos al bienestar del consumidor o con beneficios a la salud (Giménez et al., 2015).

Por lo que, en épocas recientes, industrias de alimentos han tendido al retorno de inclusión de ingredientes de origen natural limitando el uso de aditivos sintéticos con el fin no solo de generar etiquetas más limpias frente a un consumidor informado, sino con el propósito de disminuir posibles efectos adversos a la salud del consumidor, sin embargo, y para el caso de moléculas bioactivas cromóforas, su inclusión puede resultar en un reto, al considerar la sensibilidad de reacción frente a condiciones de presencia de oxígeno, calor y luz, resultando como limitantes, capaces incluso de generar pérdidas o alteraciones de color durante su etapa de procesamiento o almacenamiento, sumado al alto costo que es asociado con el uso de productos naturales al incrementar las cantidades requeridas para una misma coloración, los problemas tecnológicos y la percepción sensorial en comparación con homónimos sintéticos (Sigurdson et al., 2017).

Con el fin de evaluar la estabilidad del colorante natural presente en el rizoma de cúrcuma, fue incluida curcumina en un pan tipo Sourdough y comparada con un colorante sintético convencional y usado ampliamente por la industria de alimentos, amarillo #6, añadiendo partes iguales y tomando registros de su color, textura y humedad, cada 4 días por un periodo de almacenamiento total de 12 días.

Colorantes alimenticios:

La apariencia es un factor de calidad fundamental en los alimentos, que no solo establece lo atractivo o no que un alimento puede llegar a ser, sino que en algunos casos puede llegar a orientar la decisión de compra por parte de los consumidores, por lo que, y con el fin de controlar este atributo, la industria de alimentos busca aditivos capaces de alcanzar una coloración uniforme, intensificar su pigmentación, inducir ingredientes añadidos, o proteger otros componentes a través de una coloración estable y según los requerimientos (Delgado-Vargas & Paredes-Lopez, 2002).

Para cuando el desarrollo industrial incrementó, hacia el siglo XIX la demanda de aditivos para alimentos en consecuencia aumentó también, optando en aquella época, por colorantes derivados en su mayoría de minerales, sin embargo, tiempo después fue comprobado su efecto negativo sobre la salud del consumidor, debido a las impurezas

contenidas allí, dando lugar entonces a alternativas consideradas disponibles para abastecimiento en cuantías industriales, como los colorantes sintéticos, sin embargo, y con el tiempo su vigencia decreció, resultando para inicios del siglo XXI en solo 7 opciones colorantes sintéticas permitidas por la FDA, arremetiendo nuevamente sobre su impacto de uso sobre la salud del consumidor y el impacto ambiental, abriendo nuevamente como en tiempos ancestros, la cavidad para el uso de colorantes naturales en la industria alimenticia (Delgado-Vargas & Paredes-Lopez, 2002).

Estos colorantes naturales no solo cumplen su papel tecnológico dentro de una matriz alimentaria, sino que y con el paso del tiempo, han sido asociados con beneficios a la salud, adicional a su capacidad colorante la cual suele ser mayor en comparación con los sintéticos, siendo capaces de precisar de una mejor manera colores más específicos, más seguros, y con alcances funcionales que pueden llegar a aportar a la salud del consumidor (Ntrallou et al., 2020).

- **Naturales**

Los carotenoides como colorantes amarillos rojizos, comprenden uno de los grupos de pigmentos más importantes en la naturaleza, siendo terpenoides creados por ocho unidades de isoprenoides capaces de aportar colores como rosa, rojo, amarillo, y naranja; presentes en distintos organismos naturales; en el caso de las plantas, ocurren en plastos de hojas, frutas, y flores, en cantidades cercanas a 0.007 - 0.2% materia seca, incluyendo distintas categorías como la luteína, astaxantina y licopeno; inestables a la luz y se recomienda un almacenamiento en frío. Algunas de las fuentes de carotenoides más convencionales son, tomate, anato, zanahoria, durazno, calabaza, aceite de palma rojo, paprika, y azafrán. Aunque históricamente los carotenoides (β , α , γ) han sido usados como colorantes, intereses recientes apuntan a la capacidad antioxidante que posee y como preservante natural (Brudzyńska et al., 2021; Damant, 2011).

- **Sintéticos**

Los colorantes sintéticos se caracterizan por su capacidad de ser aplicados en amplia escala, debido a su estabilidad frente a condiciones de oxígeno, luz pH, percepción sensorial, independencia agrícola, bajo riesgo de contaminación microbiológica y su bajo costo, sin embargo, en los últimos años, gran parte de estos colorantes han venido siendo limitados, debido a la frecuente evidencia sobre efectos secundarios tóxicos a corto/largo

plazo y eventual desarrollo de efectores carcinógenos, así como efectos en el sistema respiratorio, alergias, y neurológico, como desarrollo de déficit de atención desorden de hiperactividad (ADHD)(Ntrallou et al., 2020; Perez et al., 2022).

Amarillo #6 - (E110) o sunset yellow

E110, CI Food Yellow 3, INS No. 110 o amarillo naranja comprende un colorante azo sintético de tonalidad amarilla rojiza, soluble en agua y que posee cierta similitud con el ácido carminico extraído de *Dactylopius coccus*. Su nombre químico disodium 2-hydroxy-1-(4-sulphonatophenylazo)naphthalene6-sulphonate, sin embargo, estudios han demostrado que una exposición dietaria a altas concentraciones de este colorante puede traer algunos efectos adversos en respuestas a la sensibilidad, como alergias, así como su combinación con otros colorantes sintéticos puede causar edema periorbitario, urticaria, enrojecimiento facial, e hiperactividad en niños, sin embargo, Food additives and Nutrient Sources Added to Food (ANS) de European Food Safety Authority (EFSA), concluyó que su uso no está asociado con efectos cancerígenos, dando lugar así que entidades como Codex Alimentarius, permitan niveles máximos de 300 mg/kg así como un máximo de ingesta diaria de 4 mg/kg (Rovina et al., 2017).

Tartrazina

Comprende un aditivo o colorante sintético, derivado del alquitrán de hulla, de alta solubilidad en agua, reconocido como E102 o amarillo No 5, capaz de aportar una tonalidad amarillenta limón y de uso común en alimentos; no se recomiendan consumos superiores a 7.5 mg/kg de peso del cuerpo, aunque su absorción en el metabolismo sea inferior al 5%, sin embargo, ha sido un colorante limitado debido a su capacidad de causar efectos neurotóxicos y genotóxicos, por lo que, aunque en cantidades mínimas, el consumo de este aditivo se considere seguro, se recomienda su limitación; distintos países como Austria y Noruega lo han restringido completamente (Ramesh & Muthuraman, 2018), mientras que el ministerio de salud de Colombia, no permite que se excedan las 100 ppm (Resolución 10593, 1985).

3.2 Materiales y métodos

Preparación y acondicionamiento de la muestra

Fueron preparados panes tipo Sourdough, usando una combinación de harina blanca de trigo fortificada (80%) y harina integral (20%) con contenidos de proteína > a 13%, hidratación del 65% (porcentaje panadero), inclusión de prefermento del 20% y 2% de sal.

Ingredientes	Tratamientos		
	CTRL	CUR	Amarillo #6
Harina blanca fortificada (%)	75	75	75
Harina integral (%)	25	25	25
Agua (%)	65	65	65
Prefermento (%)	20	20	20
Sal (%)	2	2	2
Curcumina (%)		0.01	
Amarillo #6 (%)			0.01

**Porcentajes fueron calculados tomando como referencia la suma de harina blanca fortificada + harina integral como un 100%, mientras que, colorantes consideran la suma de todos los ingredientes como 100%.*

Tres distintos tratamientos fueron considerados distribuidos de la siguiente manera, un control o un pan sin adición de ningún tipo de colorante, otro con inclusión de 100 ppm de colorante natural, curcumina y finalmente otro con inclusión de 100 ppm de colorante sintético, tartrazina. Una vez combinados los ingredientes (harina, agua, prefermento, sal y colorantes) fueron leudados por aproximadamente 6 h, a temperatura ambiente 19 ± 2 °C haciendo rotaciones y dobleces a la masa cada 1.5 h, posteriormente fueron porcionados y dejados leudar en banetones por aproximadamente 15 h en el refrigerador a 6 ± 2 °C.

Posteriormente fue precalentado el horno a 250 ± 2 °C y horneadas las muestras por un tiempo total de 39 min, aplicando vapor los primeros 10 s y estableciendo la temperatura de los primeros 10 min a 220 ± 10 °C, para ser posteriormente reducida a 200 ± 10 °C hasta completar el tiempo previamente establecido.

Una vez horneadas las muestras, fueron enfriadas a partir de deltas de temperatura con la condición ambiental 19 ± 2 °C por 120 min, para ser luego empacadas en bolsas de polipropileno, especiales para pan y dispuestas en anaquel para los respectivos análisis a través de la línea de tiempo.

Tratamientos

Tratamiento	Concentración de colorante amarillo	Puntos de lectura (Días de almacenamiento)
Control	0	1, 4, 8 y 12
Curcumina	100 ppm o 0.01%	
Amarillo #6	100 ppm o 0.01%	

Análisis proximal

Composición proximal de los distintos tratamientos (control, curcumina 100 ppm, y amarillo #6 100 ppm) determinando humedad (Bradley, 2010), proteína AOAC 981.10, cenizas AOAC 941.12, extracto etéreo AOAC 920.39, y, otros carbohidratos por diferencia de 100

Propiedades físicas*Color*

Los valores de color fueron expresados en coordenadas cromáticas del espacio CIE L*a*b*, bajo la metodología descrita a detalle en el capítulo 2.

Análisis de perfil de textura (TPA)

Llevado a cabo a temperatura ambiente, usando un Texture Analyser TA XTplus adaptado con un disco de compresión de aluminio 35 mm con terminación plana, (probeta P/35), fuerza de 20g, 40% de deformación, velocidad de cruceta de 5 mm/s y 5 segundos de espera entre las dos mediciones. Las muestras fueron tomadas de la parte central del pan, tomando un paralelepípedo de 50 mm³, y evitando regiones de corteza (Crowley et al., 2002)

Análisis químico*Extracción de componentes bioactivos*

Las muestras fueron tomadas durante el transcurso del tiempo en anaquel, pasados 1, 4, 8 y 12 días, ultracongeladas a -38 ± 2 °C, secadas en oscuridad y vacío por 24 h a 40 ± 2 °C. Obtenidas las muestras secas, fueron tomados 2 ± 0.1 g, molidos y dispuestos en una solución de etanol al 80% en agitación magnética por 1h, luego fueron reservados en

refrigeración por 16 h, para nuevamente hacer lavados hasta no obtener más coloración; finalmente este extracto fue filtrado a través de papel y llevado a un volumen de 50 mL

Determinación del contenido de curcumina (CUR)

Determinada a través del método espectrofotométrico descrito a detalle por (Ashwinder & Vasudeva, 2017) con algunas modificaciones especificadas a detalle en el apartado del capítulo 2.

3.3 Resultados y discusión

Análisis proximal

Tabla 3-1: Composición proximal de las muestras según los tratamientos

Componente	Tratamientos		
	Control	Curcumina	Amarillo #6
Carbohidratos (%)	45.39 ± 0.63 ^a	47.84 ± 0.27 ^b	45.27 ± 0.49 ^a
Humedad (%)	45.33 ± 0.68 ^b	42.94 ± 0.22 ^a	45.54 ± 0.40 ^b
Proteína (%)	7.52 ± 0.04 ^a	7.24 ± 0.08 ^a	7.24 ± 0.06 ^a
Cenizas (%)	1.65 ± 0.00 ^a	1.86 ± 0.02 ^b	1.83 ± 0.01 ^b
Grasa (%)	0.09 ± 0.00 ^a	0.10 ± 0.00 ^a	0.10 ± 0.00 ^a

**Letras minúsculas refieren a comparación estadística entre medias según los tratamientos, letras distintas muestran una diferencia significativa entre muestras.*

El análisis proximal entre tratamientos muestra ligeras variaciones entre tratamientos, especialmente para el caso de carbohidratos y cenizas, parámetros que tendieron a cambiar parcialmente en función de la proporción suministrada de colorante. Para el caso del tratamiento con curcumina, al adicionar un compuesto que no está aislado, permite tomar aportes de la matriz, que para este tratamiento se encuentran expresadas como fibra y almidón, y presentes de manera mayoritaria en el polvo de cúrcuma; asimismo componentes como las cenizas, tienden a incrementar en este tratamiento debido a la alta presencia de minerales como K, P y Ca en esta misma matriz (Kang, 2007). Otros parámetros como la humedad, proteínas y grasas, si bien tienden ligeramente a manifestar un cambio debido a las inclusiones de colorantes, no se ven estadísticamente influenciadas por su adición.

Tabla 3-2: Comportamiento de los parámetros de humedad, actividad de agua y pH durante el almacenamiento a temperatura ambiente y según los tratamientos

Tratamientos	Tiempo en anaquel (días)	Parámetros		
		Humedad	Actividad de agua	pH
Control	1	45.33 ± 0.68 ^{Cb}	0.95 ± 0.00 ^{Aa}	4.38 ± 0.01 ^{Aa}
	4	43.36 ± 0.11 ^{Bb}	0.94 ± 0.00 ^{Aa}	4.46 ± 0.01 ^{Aa}
	8	46.25 ± 0.20 ^{Db}	0.95 ± 0.00 ^{Aa}	4.31 ± 0.00 ^{Aa}
	12	44.89 ± 0.17 ^{Ab}	0.95 ± 0.00 ^{Aa}	4.35 ± 0.01 ^{Aa}
Curcumina	1	42.94 ± 0.22 ^{Ca}	0.94 ± 0.00 ^{Aa}	4.37 ± 0.00 ^{Aa}
	4	42.51 ± 0.50 ^{Ba}	0.95 ± 0.00 ^{Aa}	4.36 ± 0.00 ^{Aa}
	8	44.93 ± 0.62 ^{Da}	0.94 ± 0.00 ^{Aa}	4.36 ± 0.05 ^{Aa}
	12	42.18 ± 1.30 ^{Aa}	0.94 ± 0.00 ^{Aa}	4.43 ± 0.00 ^{Aa}
Amarillo #6	1	45.54 ± 0.40 ^{Ca}	0.94 ± 0.01 ^{Aa}	4.42 ± 0.00 ^{Ab}
	4	43.81 ± 0.85 ^{Ba}	0.95 ± 0.00 ^{Aa}	4.43 ± 0.00 ^{Ab}
	8	46.13 ± 0.37 ^{Da}	0.94 ± 0.00 ^{Aa}	4.42 ± 0.10 ^{Ab}
	12	38.52 ± 0.01 ^{Aa}	0.95 ± 0.01 ^{Aa}	4.45 ± 0.01 ^{Ab}

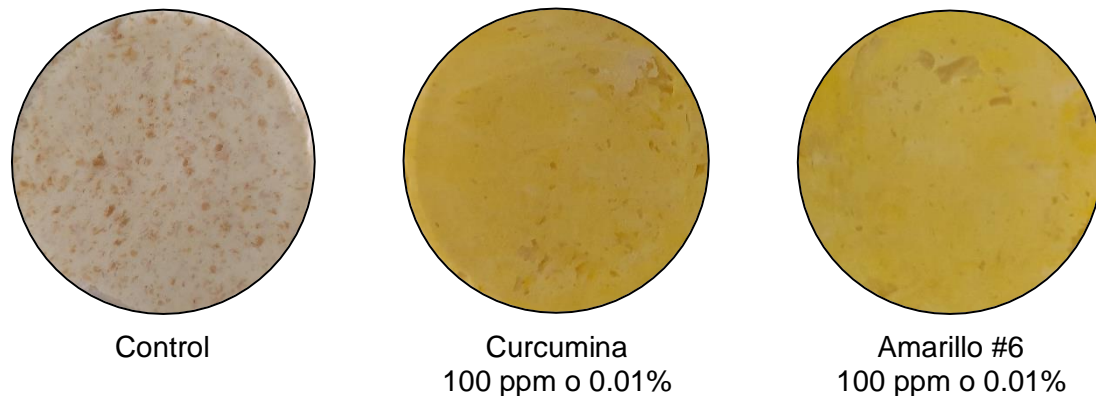
**Letras mayúsculas refieren a comparación estadística entre medias a través del tiempo de almacenamiento, mientras que, letras minúsculas refieren a comparativa entre medias según los tratamientos.*

Según muestra la tabla 3-2, frente al parámetro de humedad no es preciso observar un comportamiento o línea de tendencia influenciada por el tiempo de almacenamiento, sin embargo, y para el caso de los dos tratamientos que involucran colorantes, este parámetro tiende ligeramente a disminuir al no ser considerados estos insumos añadidos dentro del balance de hidratación de la masa, mientras que, y para el caso de la actividad de agua, no se ve afectada ni por el tiempo, ni por ninguno de los tratamientos; asimismo, el pH resultó en un parámetro relativamente estable, al no cambiar durante el transcurso del almacenamiento, sin embargo, el amarillo #6 resultó obtener un pH estadísticamente distinto frente a los otros dos tratamientos.

Propiedades físicas

Color

Masas

Figura 3-1: Aspecto físico de las masas según los tratamientos**Tabla 3-3:** Coordenadas colorimétricas en el espacio CIE L*a*b* para las masas según el tratamiento

Tratamiento	Lecturas colorimétricas					
	L*	a*	b*	Croma	Tono	ΔE^*
Control	77.04 ± 0.57 ^c	2.95 ± 0.33 ^c	16.81 ± 0.53 ^a	17.06 ± 0.65 ^a	1.39 ± 0.02 ^a	
Curcumina	71.24 ± 0.29 ^a	1.97 ± 0.15 ^b	52.95 ± 0.55 ^c	52.98 ± 0.59 ^c	1.53 ± 0.00 ^b	36.6 ± 0.53 ^b
Amarillo #6	73.48 ± 0.71 ^b	0.93 ± 0.09 ^a	46.14 ± 0.84 ^b	46.14 ± 0.03 ^b	1.55 ± 0.00 ^b	30.8 ± 0.03 ^a

*Letras minúsculas refieren a comparación estadística entre medias según los tratamientos.
Valores de ΔE fueron calculados en función de la masa control

De acuerdo a lo observado en la tabla 3-4, y partiendo de la premisa de que los tratamientos contaron con una misma proporción de inclusión, los dos tratamientos con colorante, tanto la masa con adición de colorante natural como de sintético, registraron lecturas cercanas dentro de las coordenadas colorimétricas, estableciendo un ΔE de 5.8 entre ellas, reflejando sus diferencias principalmente sobre la escala amarilla (b^*), y siendo un cambio percibido ligeramente como diferente por el ojo humano.

Pan

Tabla 3-4: Coordenadas colorimétricas y cambios de color en el pan según el tiempo de almacenamiento y tratamiento

Tratamientos	Tiempo en anaquel (Días)	Lecturas colorimétricas					
		L*	a*	b*	Croma	Tono	ΔE^*
Control	1	59.10 ± 1.10	4.53 ± 0.00	19.56 ± 0.52	20.08 ± 0.51 ^{Ba}	1.34 ± 0.00 ^{Aa}	
	4	59.38 ± 1.48	4.13 ± 0.55	18.59 ± 0.84	19.05 ± 0.94 ^{Aa}	1.35 ± 0.01 ^{Aa}	1.27 ± 1.80 ^{Aa}
	8	62.28 ± 1.48	4.13 ± 0.18	18.49 ± 0.68	18.94 ± 0.70 ^{Aa}	1.35 ± 0.00 ^{Aa}	4.09 ± 1.29 ^{Aa}
	12	61.30 ± 2.06	4.35 ± 0.05	18.16 ± 0.09	18.67 ± 0.07 ^{Aa}	1.33 ± 0.00 ^{Aa}	3.21 ± 1.88 ^{Aa}
Curcumina	1	60.61 ± 0.48	0.63 ± 0.03	58.06 ± 4.23	58.07 ± 4.23 ^{Bc}	1.55 ± 0.00 ^{Aa}	
	4	59.96 ± 0.02	1.24 ± 0.8	49.75 ± 0.32	49.78 ± 0.34 ^{Ac}	1.54 ± 0.01 ^{Ac}	5.39 ± 0.22 ^{Ab}
	8	53.67 ± 1.80	0.88 ± 0.16	49.11 ± 2.46	49.12 ± 2.46 ^{Ac}	1.55 ± 0.00 ^{Ac}	7.46 ± 0.96 ^{Ab}
	12	58.63 ± 0.39	1.30 ± 0.75	49.28 ± 0.88	49.29 ± 0.90 ^{Ac}	1.54 ± 0.01 ^{Ac}	6.09 ± 0.65 ^{Ab}
Amarillo #6	1	57.55 ± 0.59	3.09 ± 0.40	41.04 ± 0.77	41.16 ± 0.80 ^{Bb}	1.49 ± 0.00 ^{Aa}	
	4	57.77 ± 0.59	3.24 ± 0.40	38.39 ± 1.22	38.53 ± 1.21 ^{Ab}	1.48 ± 0.00 ^{Ab}	3.34 ± 1.25 ^{Aa}
	8	57.84 ± 1.96	2.69 ± 0.40	39.14 ± 0.17	39.23 ± 0.14 ^{Ab}	1.50 ± 0.01 ^{Ab}	2.92 ± 0.14 ^{Aa}
	12	56.90 ± 0.00	2.40 ± 0.02	37.09 ± 1.38	37.17 ± 1.38 ^{Ab}	1.50 ± 0.00 ^{Ab}	4.73 ± 1.32 ^{Aa}

Letras mayúsculas refieren a comparación estadística entre medias a través del tiempo de almacenamiento, mientras que, letras minúsculas refieren a comparativa entre medias según los tratamientos.

*Valor de ΔE fue calculado en función de la lectura del día 1

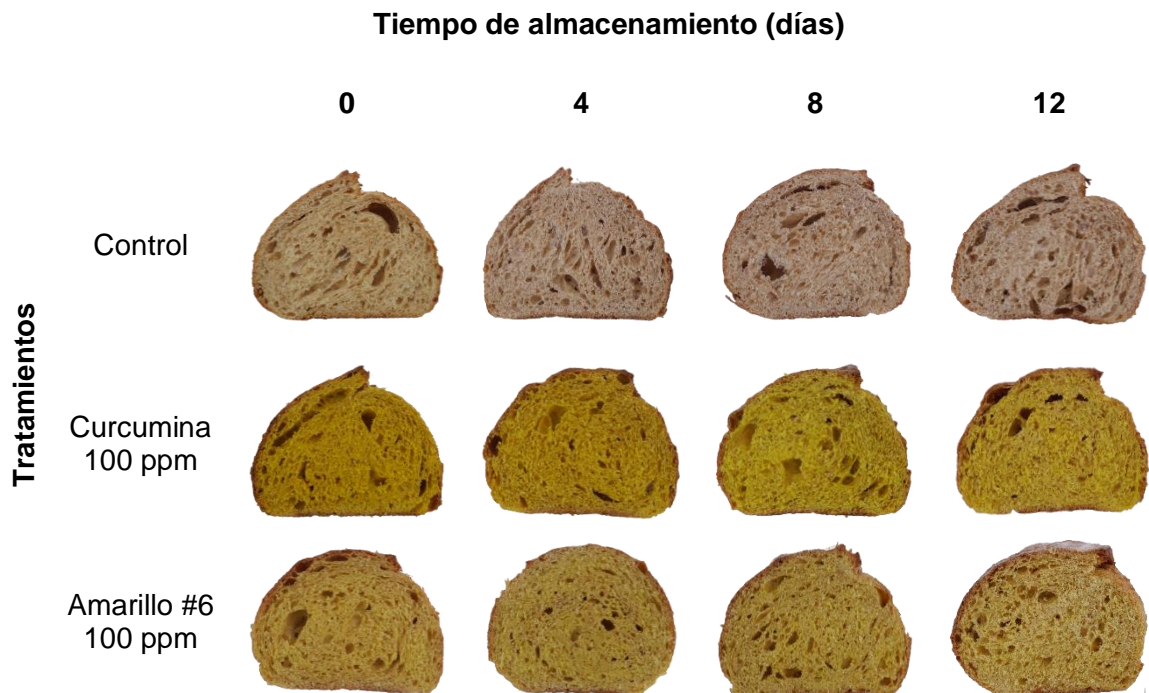
Según determinó el análisis estadístico, y según muestra la tabla 3-3, dentro de las coordenadas colorimétricas, el tratamiento control, luego del tiempo de almacenamiento, resultó mostrar un comportamiento estable, presentando ligeros cambios en las tres coordenadas ($L^*a^*b^*$) clasificados estadísticamente como no significativos a través de los 12 días de almacenamiento, mientras que, y para el caso de los tratamientos con colorantes, los valores de L^* tendieron no solo a disminuir en comparación con el control, sino a disminuir ligeramente a través del tiempo.

Asimismo, y considerando la escala colorimétrica a^* el tiempo de almacenamiento no resulta afectarla de manera significativa, mientras que el tipo de colorante y la proporción de inclusión tienden a generar cambios, registrando los valores menos rojizos en la muestra con curcumina y los valores más positivos o más rojizos sobre la muestra control.

Finalmente, y a través del tiempo, la escala b^* resultó ser la coordenada con mayor sensibilidad al cambio entre tiempos de almacenamiento establecidos como día 1 y 4, registrando diferencias en las lecturas expresadas como ΔE , las cuales y para el caso de curcumina, llegaron a alcanzar hasta 7 puntos, sin embargo y en contraste con los registros del día 8 y 12, el comportamiento en la percepción amarillenta resulta no seguir cambiando, y en su defecto reflejando estabilidad para el caso de los 3 tratamientos.

Adicionalmente, el croma o su saturación tendió a disminuir a través del paso del tiempo, identificando valores superiores en los 3 tratamientos, registrando los mayores cambios entre las lecturas del día 1 y 4, y con tendencia a estabilizarse en las lecturas posteriores. Asimismo, el tratamiento con curcumina fue quien registró mayor saturación, valores influenciados por los altos registros de b^* para el tratamiento con curcumina.

Observando así, que la curcumina fue quien tendió a cambiar más dentro del espacio CIE $L^*a^*b^*$, en los primeros 4 días de almacenamiento, particularmente sobre la escala amarillenta b^* , aunque y según las lecturas posteriores, en el tiempo tiende a estabilizar; asimismo, este fenómeno de cambios en la coloración no fue solo propio de la curcumina, sino que, logra involucrar a los otros dos tratamientos, ubicando el amarillo #6 como el segundo tratamiento más inestable en términos de coloración y finalmente la muestra control, quien tendió a cambiar en menor medida.

Figura 3-2: Aspecto físico de las muestras según los tratamientos a través del tiempo

Posterior a la etapa de horneado a temperaturas superiores a los 200°C, surgen cambios en su coloración para los 3 tratamientos, registrando valores de ΔE de 18.82 ± 0.99 , 12.36 ± 1.55 y 16.63 ± 0.76 para el tratamiento control, con curcumina y con amarillo #6 respectivamente. Tratamiento control fue quien más cambió, luego de reducir en cerca de 17 unidades su luminosidad, levemente sus tonos rojizos y mantener ligeras disminuciones en su escala b^* ; para el caso del tratamiento con curcumina, hubo un comportamiento similar frente a las escalas L^* y a^* en comparación con el tratamiento control, disminuyendo en cerca de 11 unidades su luminosidad, presentando un leve cambio en a^* y tendiendo a aumentar en 6 unidades su escala b^* ; finalmente y para el tratamiento con amarillo #6, se observaron disminuciones hasta de 16 unidades en la escala de luminosidad, un leve aumento en la escala b^* , así como una reducción de cerca de 5 unidades en su escala b^* .

Por lo que, y posterior al horneado todos los tratamientos resultaron afectados en su escala de luminosidad, el pan con inclusión de curcumina tendió a aumentar su escala en b^* , mientras que, el pan con inclusión de amarillo #6 tendió a disminuir esta escala, siendo el colorante sintético sensible a pérdidas por aplicación de calor.

Análisis perfil de textura

Tabla 3-5: Análisis del perfil de textura de las muestras de pan a según el tratamiento y a través del tiempo.

Tratamientos	Tiempo en anaquel (días)	Parámetros Texture Profile Analysis (TPA)						
		Dureza (N)	Adhesividad	Elasticidad (cm)	Cohesividad	Gomosidad (gf)	Masticabilidad (gf.mm)	Resiliencia
Control	1	17.61 ± 1.01 ^{Aa}	-17.97 ± 0.20 ^{Aa}	0.83 ± 0.00 ^{Aa}	0.62 ± 0.03 ^{Aa}	1093.6 ± 49.0 ^{Aa}	909.2 ± 38.4 ^{Aa}	0.23 ± 0.02 ^{Ba}
	4	52.25 ± 7.16 ^{Ca}	-9.02 ± 0.60 ^{Ba}	0.86 ± 0.03 ^{Aa}	0.45 ± 0.01 ^{Aa}	2451.2 ± 44.0 ^{Ba}	2271.7 ± 44.0 ^{Ba}	0.17 ± 0.00 ^{Ba}
	8	47.62 ± 8.00 ^{Ba}	-13.00 ± 1.34 ^{Ca}	0.43 ± 0.04 ^{Aa}	0.43 ± 0.04 ^{Aa}	2405.6 ± 132.5 ^{Ca}	2037.9 ± 201.8 ^{Ba}	0.14 ± 0.02 ^{Ba}
	12	52.56 ± 7.11 ^{Ba}	-0.90 ± 0.00 ^{Ca}	0.78 ± 0.0 ^{Aa}	0.44 ± 0.04 ^{Aa}	2287.4 ± 29.0 ^{Ca}	2012.9 ± 151.1 ^{Ca}	0.15 ± 0.03 ^{Aa}
Curcumina	1	13.59 ± 0.52 ^{Aa}	-14.28 ± 2.06 ^{Ac}	0.81 ± 0.00 ^{Aa}	0.64 ± 0.41 ^{Aa}	1404.6 ± 98.6 ^{Aa}	1027.9 ± 100.1 ^{Ab}	0.24 ± 0.03 ^{Ba}
	4	49.46 ± 4.88 ^{Ca}	-9.27 ± 0.71 ^{Bc}	0.81 ± 0.05 ^{Aa}	0.41 ± 0.02 ^{Aa}	2089.3 ± 88.9 ^{Ba}	1706.9 ± 186.0 ^{Bb}	0.13 ± 0.00 ^{Ba}
	8	47.33 ± 4.41 ^{Ba}	-0.715 ± 0.09 ^{Cc}	0.74 ± 0.01 ^{Aa}	0.47 ± 0.02 ^{Aa}	2245.7 ± 42.2 ^{Ca}	1944.6 ± 173.7 ^{Bb}	0.15 ± 0.02 ^{Ba}
	12	65.90 ± 1.05 ^{Ba}	-8.94 ± 0.69 ^{Cc}	0.81 ± 0.04 ^{Aa}	0.47 ± 0.05 ^{Aa}	2748.6 ± 203.6 ^{Ca}	2408.6 ± 74.4 ^{Cb}	0.16 ± 0.02 ^{Aa}
Amarillo #6	1	16.56 ± 0.77 ^{Aa}	-28.89 ± 0.81 ^{Ab}	0.79 ± 0.02 ^{Aa}	0.60 ± 0.03 ^{Aa}	987.34 ± 36.6 ^{Ab}	783.9 ± 52.36 ^{Ab}	0.21 ± 0.01 ^{Ba}
	4	57.57 ± 3.05 ^{Ca}	-9.78 ± 0.188 ^{Bb}	0.74 ± 0.07 ^{Aa}	0.47 ± 0.08 ^{Aa}	1973.7 ± 71.2 ^{Bb}	1633.1 ± 141.1 ^{Bb}	0.15 ± 0.03 ^{Ba}
	8	36.79 ± 6.58 ^{Ba}	-0.75 ± 0.07 ^{Cb}	0.79 ± 0.01 ^{Aa}	0.55 ± 0.00 ^{Aa}	2300.6 ± 54.8 ^{Cb}	1573.6 ± 99.2 ^{Bb}	0.20 ± 0.00 ^{Ba}
	12	48.18 ± 5.67 ^{Ba}	-0.60 ± 0.03 ^{Cb}	0.87 ± 0.04 ^{Aa}	0.44 ± 0.00 ^{Aa}	2294.1 ± 131.1 ^{Cb}	2169.3 ± 13.1 ^{Cb}	0.16 ± 0.00 ^{Aa}

*Letras mayúsculas refieren a comparación estadística entre medias a través del tiempo de almacenamiento, mientras que, letras minúsculas refieren a comparativa entre medias según los tratamientos.

El análisis del perfil de textura (TPA) proporcionó mediciones objetivas de los parámetros de textura y se utilizó para evaluar el efecto de adición de un colorante natural (Curcumina) y artificial (Amarillo #6) en un pan de masa fermentada durante el almacenamiento por 12 días a temperatura ambiente. Se produjeron panes de trigo fortificado con inclusión de harina integral de un 20% de masa madre de acuerdo con la metodología propuesta. Como control se utilizó pan sin colorante añadido. En el análisis de perfil de textura, se observaron diferencias significativas en dureza, adhesividad, gomosidad y masticabilidad para los diferentes tipos de pan, durante el tiempo de almacenamiento (Tabla 3-5). La dureza varió de 13.59 a 65.90 N, exhibiendo los valores más bajos los primeros días de análisis, mientras que el valor aumentó significativamente el cuarto día de almacenamiento, lo que puede estar relacionado con el envejecimiento del pan, asociados procesos de transición vítrea y la redistribución del agua durante la cristalización del almidón (Arendt et al., 2007; Morris, 1990), siendo congruente además con el comportamiento reportado (Crowley et al., 2002; Rizzello et al., 2010) donde presenta incrementos crecientes de la dureza durante el almacenamiento.

La cohesión y adhesividad de los panes varió de 0.41 y 0.64 y entre -0.60 y -28.89, presentando sus valores máximos el primer día de almacenamiento. Mientras, la gomosidad y la masticabilidad oscilaron entre 983.97 y 2748.63 gf y entre 783.97 y 2408.63 gf respectivamente, presentando los valores más bajos el primer día de almacenamiento. Finalmente, la resiliencia y elasticidad no presenta diferencias significativas $p > 0.05$ y sus valores oscilan entre 0.13 y 0.24 y entre 0.74 y 0.87. Este resultado muestra que tanto la adición de los colorantes como el tiempo de almacenamiento no influyó significativamente en la resiliencia y elasticidad de los panes.

Por lo que, y según muestra la tabla 3-5, la dureza de los tres tratamientos se vio influenciada por el paso del tiempo de almacenamiento y no por el tipo de tratamiento o la adición de colorantes, surgiendo como un fenómeno convencional en productos de panificación y fundamentado en la transición vítrea y la redistribución del agua a través de la cristalización del almidón (Morris, 1990) alcanzando valores hasta tres veces superiores a los registrados inicialmente, fenómeno observado también por, pero en un lapso de 4 a 74h y que impacta en la misma medida y de la misma manera la masticabilidad.

Aunque y para el caso de la elasticidad, las diferencias no sean percibidas como significativas estadísticamente entre tiempos de almacenamiento ni entre tratamientos,

panes con colorantes tendieron ligeramente a reflejar valores inferiores; asimismo, la inclusión de colorantes no resulta influir sobre la cohesividad de la muestra, siendo un parámetro afectado solo por el tiempo de almacenamiento

Para el caso de gomosidad, este parámetro tendió a aumentar a través del tiempo en los 3 tratamientos, registrando comportamientos similares en tratamiento control e inclusión con curcumina, trasladando el comportamiento estadísticamente distinto a la inclusión con amarillo #6. En el parámetro de masticabilidad, las inclusiones de colorantes tendieron a aumentar los valores de masticabilidad, sumado a su aumento progresivo durante el tiempo de almacenamiento.

Finalmente, para el parámetro de resiliencia, los colorantes resultaron no influir sobre esta propiedad, mientras que el tiempo fue realmente quien afectó este parámetro, perdiendo resiliencia a través del su almacenamiento; fenómeno registrado con el mismo comportamiento a través del almacenamiento (Crowley et al., 2002)

Por lo que, estos valores se enmarcan en márgenes cercanos también a lo que reportó (Çetin-Babaoğlu et al., 2020) para su muestra control de Sourdough, con valores de 0.94 ± 0.01 , 0.75 ± 0.01 , 840 ± 35.62 , y 0.35 ± 0.01 , para elasticidad, cohesividad, masticabilidad y resiliencia respectivamente, sin embargo, y para el caso de dureza, los valores registrados, fueron significativamente distintos, obteniendo productos menos duros debido al uso de levaduras adicionadas y distintas a las contenidas en el fermento y a la implementación de harina de trigo totalmente blanca y no con fracciones integrales.

Asimismo, no solo la textura de los productos de panificación se ve influenciada por el tamaño de sus alveolos, sino otras propiedades como su calidad de masticabilidad, fuerza mecánica y percepción de frescura, haciendo que sus características estructurales sean relevantes (Crowley et al., 2002).

Análisis químico

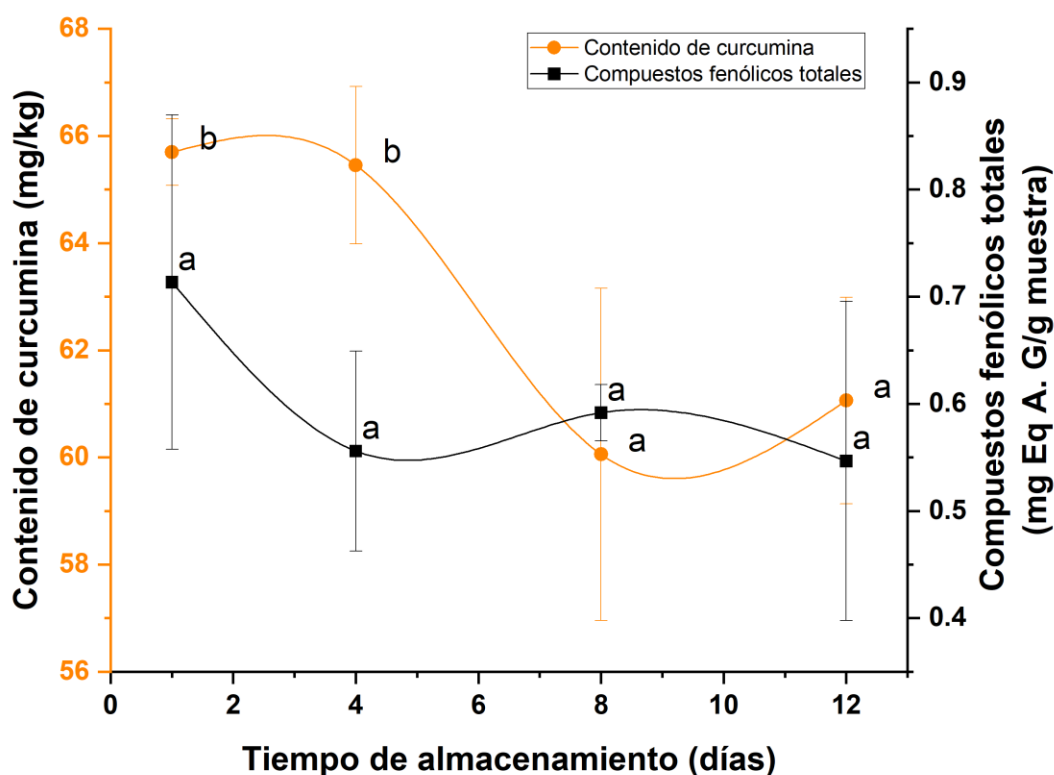
Tabla 3-6: Componentes bioactivos en muestra de pan de cúrcuma a través del tiempo de almacenamiento

Tratamiento	Componentes bioactivos		
	Días de almacenamiento	Curcumina (mg/kg de muestra)	Compuestos fenólicos totales (mg E A.G/g muestra)
Control		No detectable	0.36 ± 0.14

Cúrcuma	1	65.69 ± 0.62^b	0.69 ± 0.12^a
	4	65.45 ± 1.47^b	0.56 ± 0.09^a
	8	60.05 ± 3.10^a	0.59 ± 0.02^a
	12	61.06 ± 1.92^a	0.55 ± 0.14^a

*Letras minúsculas refieren a comparación estadística entre medias según los tratamientos, letras distintas muestran una diferencia significativa entre muestras.

Figura 3-3: Comportamiento de componentes bioactivos del tratamiento con inclusión de curcumina a través del tiempo de almacenamiento



*Letras minúsculas refieren a comparación estadística entre medias según las lecturas a través de los días de almacenamiento, letras distintas muestran una diferencia significativa entre muestras.

Según muestra la figura 3-3, la presencia de curcumina tiende a cambiar por acción del tiempo de almacenamiento y por la temperatura de proceso, siendo una sustancia de relativamente baja estabilidad, capaz de seguir patrones de degradación, que resultan en la formación de metabolitos secundarios como ácido ferúlico y vanilina, como efecto de la exposición a más de 50°C (Komonsing, Reyer, et al., 2022; Siddiqui, 2015).

Pasados los 39 min del proceso de horneado y observando el primer punto de la cinética de comportamiento de la curcumina, es posible deducir que hay una reducción de un 34.31% frente a la cantidad considerada inicialmente como proporción, 100 mg/kg, siendo valores que se ajustan a los reportes de (Siddiqui, 2015), quien menciona una reducción hasta del 47% al exponer su muestra a temperaturas de 50 y 70°C, siendo estos procesamientos térmicos capaces de reducir los curcuminoides entre un 27 y 53% dependiendo de la intensidad en tiempo de tratamientos térmicos y temperaturas (Suresh et al., 2007), siendo este fenómeno no solo atribuido a las operaciones de procesamiento sino también al medio en el cual se encuentra la molécula disuelta (Siddiqui, 2015). Asimismo y según registró (Sowbhagya et al., 2005) luego de almacenar por 10 semanas un producto extruido a base de cereales y pigmentado con curcumina, y en comparación con tartrazina, la concentración del pigmento natural tendió a bajar, partiendo de 52.6 ppm, pasando por 49.9 ppm a la segunda semana y hasta registrar 40.6 ppm en su última lectura en la décima semana, registrando así una reducción en su concentración del 22.8%; mientras que, y para el caso de la tartrazina, pasadas las dos semanas, tendió a decrecer su concentración reduciéndose hasta en un 4.8% y hasta alcanzar en la décima semana una reducción total de un 8.0%.

Según reportó (Lim et al., 2011) el contenido de compuestos fenólicos en un pan control o sin inclusión de cúrcuma se encuentra cercano a 30.9 mg Eq A.G/100 g, siendo valores cercanos a los evidenciados en la figura 3-3, reportando 0.36 mg Eq A.G/g, valor superior ligeramente superior al reportado en la literatura, y, asociado a la presencia de harina de trigo integral, la cual puede contener significativamente mayor contenido frente a una referencia de harina blanca, estableciendo un perfil con doce distintos ácidos fenólicos, entre ellos ferúlico, p-hidroxibenzoico, y vanílico como los de mayor presencia (Hung et al., 2009).

3.4 Conclusiones

Los colorantes en los alimentos hacen parte de las dietas de los consumidores y de sus expectativas, induciendo una variedad de cualidades como su sabor, seguridad, y valor nutricional a partir de su presencia (Sigurdson et al., 2017), por lo que, una coloración inapropiada, o distinta a la que usualmente es percibida como producto fresco, automáticamente traslada a una percepción a un alimento en descomposición, mal procesada o con errores de suministro (Delgado-Vargas & Paredes-Lopez, 2002), siendo

este un factor que repercute de manera económica, más si de un colorante inestable se trata.

La curcumina entonces, emerge como una molécula con un gran potencial colorante, en comparación con homónimos sintéticos amarillos, consiguiendo resultados menos luminosos, más atractivos, y más rojizos, haciendo que la apariencia sea más natural, y disminuya el impacto sobre la salud de los consumidores en comparación con la ingesta de homónimos sintéticos, contribuyendo entonces no solo con propiedades tecnológicas pigmentarias, sino, también con funcionalidades bioactivas capaces de aportar una nueva serie de valores (Luzardo-Ocampo et al., 2021). Por lo que, y aunque la curcumina tiende a cambiar luego de operaciones de procesamiento, resulta estable incluso a una temperatura constante de 90°C y hasta por 6 horas (Giménez et al., 2015).

Posterior al proceso de horneado, hubo una reducción de curcumina cercana al 34.31% y una reducción de un 4.63% más durante los 12 días de almacenamiento; valores en la escala L* se vieron afectados por el horneado en los 3 tratamientos, mientras que, y para el caso de la escala b*, tendió a aumentar en 6 unidades en la inclusión con cúrcuma, siendo percibido por el ojo humano como una intensificación de coloración amarilla, fenómeno distinto al observado en el tratamiento con amarillo #6, en donde la escala b* disminuyó en 5 unidades, estableciendo la curcumina como un colorante natural capaz de brindar mayor estabilidad frente a procesos térmicos de alta temperatura y alcanzar mayor intensidad de pigmentación con incluso menores concentraciones de inclusión.

A pesar de las advertencias por parte de diversos autores frente a los efectos sobre la salud, colorantes sintéticos seguirán en el mercado siempre y cuando la legislación lo permita, independientemente de la conciencia del consumidor y de la evidencia frente a efectos negativos a la salud, debido a su bajo costo de producción, alta capacidad de pigmentación, y estabilidad química (Sigurdson et al., 2017)

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Las operaciones de acondicionamiento previas al secado del rizoma como el escaldado con vapor por distintos tiempos (8, 15 y 30 min) influyen principalmente sobre la percepción colorimétrica y sobre la velocidad de pérdida de masa a través del secado del rizoma en las tres temperaturas evaluadas (50, 60 y 70 °C), sin embargo, y frente al comportamiento de componentes bioactivos, como la curcumina y los compuestos fenólicos, las operaciones de acondicionamiento no tienen un efecto en la concentración frente al tratamiento control (0 min de escaldado); sine embargo, la temperaturas de secado favorece el contenido de curcumina en el polvo de cúrcuma, siendo 60°C en la temperatura en la que hay mayor concentración de este componente, el rango que oscila entre 7.07 ± 0.21 y $7.40 \pm 0.23\%$, siendo valores estadísticamente distintos a los registrados en 50 y 70°C, ubicados a su vez entre 6.20 ± 0.83 - 6.52 ± 0.47 y 6.66 ± 0.13 - $7.05 \pm 0.52\%$ respectivamente; para el caso de compuestos fenólicos, no fue posible identificar una condición o pretratamiento con influencia frente a su concentración y/o respuesta, ubicando lecturas en rangos que oscilan entre 45.06 ± 4.94 y 54.81 ± 2.05 mg Eq A.G/g de cúrcuma, comportándose de manera similar a la actividad antioxidante evaluado por los tres métodos DPPH, FRAP y TEAC.

Procesos de deshidratado pueden llegar a reducir la concentración de curcumina y compuestos fenólicos en un 31.86 y 26.31% respectivamente y tiene una influencia sobre la respuesta de la capacidad antioxidante, sin embargo, esta reducción no es percibida como significativa. Frente a los cambios de percepción, la coordenada colorimétrica para luminosidad (L^*) no se ve afectada por el proceso de deshidratado, mientras que escalas como la a^* , tiende a reducirse, o a aumentar como lo es para el caso de la escala b^* , resultando un polvo de cúrcuma luminoso, ligeramente menos rojizo y más amarillento en comparación con el rizoma fresco.

La inclusión de curcumina equivalente a 100 ppm en un producto de panificación al compararlo con un colorante sintético (amarillo #6) a la misma concentración, ninguno de los colorantes, tanto el natural como el sintético resulta influir sobre el perfil de textura del producto, composición proximal, el pH, sin embargo y aunque según el análisis químico de la muestra, la concentración de curcumina tendió a disminuir luego del proceso de horneado y durante su tiempo de almacenamiento de 12 días, en un 34.3 y 4.6% respectivamente, siendo los cambios del segundo segmento difícilmente percibido por el ojo humano y similar al comportamiento del colorante sintético.

4.2 Recomendaciones

Realizar un análisis cromatográfico de las moléculas con mayor actividad biológica del polvo de cúrcuma para establecer con mayor detalle los cambios que ocurren por efecto de las operaciones de transformación, incluso en la inclusión dentro de la matriz alimentaria.

Para futuros trabajos, sería enriquecedor considerar la interacción del polvo de cúrcuma como sustancia prebiótica y su interacción con microorganismos probióticos, para aplicaciones en bioprocesos.

Bibliografía

- Abdulrashid, M., Muhammad, I., Alhassan, M., Adamu, J., Salisu, M., & Ngwen, A. (2019). Phytochemical screening and proximate analysis of root *Curcuma longa* Linn. *European Journal of Pharmaceutical and Medicinal Research*, 4.897(2394–3211), 138–141.
- Afzal, A., Oriqat, G., Akram Khan, M., Jose, J., & Afzal, M. (2013). Chemistry and Biochemistry of Terpenoids from *Curcuma* and Related Species. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/22311866.2013.782757*, 3(1), 1–55. <https://doi.org/10.1080/22311866.2013.782757>
- Ajenu, C. O., Imoisi, C., Emomighahwe, O. F., & Irede, L. E. (2021). Comparative evaluation of the proximate and micro-nutritional benefits of pawpaw, carrot, turmeric and coconut. *Journal of Chemical Society of Nigeria*, 46(5), 870–887. <https://doi.org/10.46602/JCSN.V46I5.668>
- Akter, J., Hossain, M. A., Takara, K., Islam, M. Z., & Hou, D. X. (2019). Antioxidant activity of different species and varieties of turmeric (*Curcuma* spp): Isolation of active compounds. *Comparative Biochemistry and Physiology Part - C: Toxicology and Pharmacology*, 215, 9–17. <https://doi.org/10.1016/J.CBPC.2018.09.002>
- Ali, I., Haque, A., & Saleem, K. (2014). Separation and identification of curcuminoids in turmeric powder by HPLC using phenyl column. *Analytical Methods*, 6(8), 2526–2536. <https://doi.org/10.1039/C3AY41987H>
- Anne, P. (2004). Post-harvest technologies | Inpho | Food and Agriculture Organization of the United Nations. In *FAO*. <https://www.fao.org/in-action/inpho/crop-compendium/en/?page=5&ipp=7>
- AOAC. (2012). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL* (Dr. George W. & J. Latimer (eds.); 19th Editi). AOAC International.
- Arendt, E. K., Ryan, L. A. M., & Dal Bello, F. (2007). Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiology*, 24(2), 165–174. <https://doi.org/10.1016/J.FM.2006.07.011>
- Ashwinder, S., & Vasudeva, R. A. (2017). Development and validation of UV-

- spectrophotometric method for the estimation of curcumin in standardised polyherbal formulations. *Jyoungpharm.Org*, 491–495. <https://doi.org/10.5530/jyp.2017.9.96>
- Balasubramanian, S., Roselin, P., Singh, K. K., Zachariah, J., & Saxena, S. N. (2016). Postharvest Processing and Benefits of Black Pepper, Coriander, Cinnamon, Fenugreek, and Turmeric Spices. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.759901>, 56(10), 1585–1607. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.759901>
- Bennamoun, L., & Li, J. (2018). Drying Process of Food: Fundamental Aspects and Mathematical Modeling. *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes*, 29–82. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811518-3.00002-8>
- Bezbaruah, B., Journal, M. H.-I. F. R., & 2014, undefined. (2014). Generalization of temperature and thickness effects in kinetic studies of turmeric (*Curcuma longa*) slices drying. *Ifrij.Upm.Edu.My*, 21(4), 1529–1532. http://www.ifrij.upm.edu.my/21_04_2014/37_IFRJ_21_04_2014_Bezbaruah_151.pdf
- Blasco, M., García-Pérez, J. V, Bon, J., Carreres, J. E., & Mulet, A. (2006). Effect of blanching and air flow rate on turmeric drying. *Journals.Sagepub.Com*, 12(4), 315–323. <https://doi.org/10.1177/1082013206067352>
- Bradley, R. L. (2010). *Moisture and Total Solids Analysis*. 85–104. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1478-1_6
- Braga, M. E. M., Leal, P. F., Carvalho, J. E., & Meireles, M. A. A. (2003). Comparison of Yield, Composition, and Antioxidant Activity of Turmeric (*Curcuma longa* L.) Extracts Obtained Using Various Techniques. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(22), 6604–6611. <https://doi.org/10.1021/JF0345550>
- Brudzyńska, P., Brudzyńska, B., Sionkowska, A., & Grisel, M. (2021). *materials Plant-Derived Colorants for Food, Cosmetic and Textile Industries: A Review*. <https://doi.org/10.3390/ma14133484>
- Çetin-Babaoğlu, H., Arslan-Tontul, S., & Akin, N. (2020). Effect of immature wheat flour on nutritional and technological quality of sourdough bread. *Journal of Cereal Science*, 94, 103000. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2020.103000>
- Chanda, S. (2019). Phytochemical and Pharmacological Importance of Turmeric (*Curcuma longa*): A Review. *Research & Reviews: A Journal of Pharmacology*, 9(1).
- Charoenchai, L., Monton, C., Luprasong, C., & Kraisintu, K. (2020). Pretreatment study of turmeric rhizomes and optimization of drying methods using microwave oven and hot air oven to obtain high quality of turmeric powder. *Journal of Current Science and Technology*, 10(1), 49–57. <https://doi.org/10.14456/JCST.2020.5>

- Cheng, A. L., Hsu, C. H., Lin, J. K., Hsu, M. M., Ho, Y. F., Shen, T. S., Ko, J. Y., Lin, J. T., Lin, B. R., Ming-Shiang, W., H S Yu, S. H. J., Chen, G. S., Chen, T. M., Chen, C. A., Lai, M. K., Pu, Y. S., Pan, M. H., Wang, Y. J., Tsai, C. C., & Hsieh, C. Y. (2001). Phase I clinical trial of curcumin, a chemopreventive agent, in patients with high-risk or pre-malignant lesions. *Anticancer Research*, 21, Anticancer Res. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11712783/>
- Chinchkar, A. V., Singh, A., Singh, S. V., Acharya, A. M., & Kamble, M. G. (2022). Potential sanitizers and disinfectants for fresh fruits and vegetables: A comprehensive review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10), e16495. <https://doi.org/10.1111/JFPP.16495>
- Choi, Y., Ban, I., Lee, H., Baik, M. Y., & Kim, W. (2019). Puffing as a Novel Process to Enhance the Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties of *Curcuma longa* L. (Turmeric). *Antioxidants* 2019, Vol. 8, Page 506, 8(11), 506. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX8110506>
- Chumroenphat, T., Somboonwatthanakul, I., Saensouk, S., & Siriamornpun, S. (2021). Changes in curcuminoids and chemical components of turmeric (*Curcuma longa* L.) under freeze-drying and low-temperature drying methods. *Food Chemistry*, 339. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.128121>
- Clayton Da Silva, A., Dayane, P., Santos, F., Thais, J., Silva, P., Leimann, F. V., Bracht, L., & Hess Gonçalves, O. (2017). *Impact of curcumin nanoformulation on its antimicrobial activity*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.004>
- CODEX ALIMENTARIUS. (2016). *Proposed draft code of practice for the prevention and reduction of mycotoxin contamination in spices*. 18.
- Cortez, M. V., Perovic, N. R., Soria, E. A., & Defagó, M. D. (2020). Effect of heat and microwave treatments on phenolic compounds and fatty acids of turmeric (*Curcuma longa* L.) and saffron (*Crocus sativus* L.). *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, e2019205. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.20519>
- Crowley, P., Schober, T. J., Clarke, C. I., & Arendt, E. K. (2002). The effect of storage time on textural and crumb grain characteristics of sourdough wheat bread. *European Food Research and Technology*, 214(6), 489–496. <https://doi.org/10.1007/S00217-002-0500-7/METRICS>
- Damant, A. P. (2011). Food colourants. *Handbook of Textile and Industrial Dyeing*, 252–305. <https://doi.org/10.1533/9780857094919.2.252>
- Das, A., & Sharangi, A. B. (2018). Post harvest technology and value addition of spices.

- Indian Spices: The Legacy, Production and Processing of India's Treasured Export*, 249–276. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75016-3_9/COVER
- de Oliveira Filho, J. G., de Almeida, M. J., Sousa, T. L., dos Santos, D. C., & Egea, M. B. (2021). Bioactive Compounds of Turmeric (*Curcuma longa* L.). *Reference Series in Phytochemistry*, 297–318. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57415-4_37/COVER
- Delgado-Vargas, F., & Paredes-Lopez, O. (2002). *Natural colorants for food and nutraceutical uses*. CRC PRESS. https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=zXLLBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP8&dq=food+natural+colorants&ots=qCQOoNMEY0&sig=OYqY3nrVArq7OKn8AafPD085M_s
- Doymaz, I., & Smail, O. (2011). Drying characteristics of sweet cherry. *Food and Bioproducts Processing*, 89(1), 31–38. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2010.03.006>
- Ettannil, J., & Zachariah, T. J. (2016). *Processing of turmeric (Curcuma longa) by different curing methods and its effect on quality*. Indian Journal of Agricultural Sciences. https://www.researchgate.net/publication/303790256_Processing_of_turmeric_Curcuma_longa_by_different_curing_methods_and_its_effect_on_quality
- Fuloria, S., Mehta, J., Chandel, A., Sekar, M., Rani, N. N. I. M., Begum, M. Y., Subramaniyan, V., Chidambaram, K., Thangavelu, L., Nordin, R., Wu, Y. S., Sathasivam, K. V., Lum, P. T., Meenakshi, D. U., Kumarasamy, V., Azad, A. K., & Fuloria, N. K. (2022). A Comprehensive Review on the Therapeutic Potential of *Curcuma longa* Linn. in Relation to its Major Active Constituent Curcumin. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 820806. <https://doi.org/10.3389/FPHAR.2022.820806>
- Gan, H., Charters, E., Driscoll, R., Srzednicki, G., Srilaong, V., Buanong, M., Wongs-Aree, C., Kanlayanarat, S., & Archbold, D. D. (2016). Effects of drying and blanching on the retention of bioactive compounds in ginger and turmeric. *Horticulturae. Mdpi.Com*, 3–13. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3010013>
- Ghiamati Yazdi, F., Soleimanian-Zad, S., van den Worm, E., & Folkerts, G. (2019). Turmeric Extract: Potential Use as a Prebiotic and Anti-Inflammatory Compound? *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(3), 293–299. <https://doi.org/10.1007/S11130-019-00733-X>
- Giménez, P. J., Fernández-López, J. A., Angosto, J. M., & Obón, J. M. (2015). Comparative Thermal Degradation Patterns of Natural Yellow Colorants Used in Foods. *Plant Foods for Human Nutrition*, 70(4), 380–387. <https://doi.org/10.1007/S11130-015-0499-0/METRICS>

- Green, C. E., Hibbert, S. L., Bailey-Shaw, Y. A., Williams, L. A. D., Mitchell, S., & Garraway, E. (2008). Extraction, processing, and storage effects on curcuminoids and oleoresin yields from *Curcuma longa* L. grown in Jamaica. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(10), 3664–3670. <https://doi.org/10.1021/JF073105V>
- Guclu, G., Kelebek, H., & Selli, S. (2021). Antioxidant activity in olive oils. *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention*, 313–325. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819528-4.00031-6>
- Henry, V., Enemor, A., Ogbodo, U. C., Nworji, F., Ezeigwe, C., Obumneme Okpala, C., Chiamaka Iheonunekwu, G., & Enemor, V. H. A. (2020). Evaluation of the Nutritional Status and Phytomedicinal Properties of Dried Rhizomes of Turmeric (*Curcuma longa*). *Journal of Biosciences and Medicines*, 08(08), 163–179. <https://doi.org/10.4236/JBM.2020.88015>
- Hewlings, S. J., & Kalman, D. S. (2017). Curcumin: A Review of Its' Effects on Human Health. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods6100092>
- Hirko, B., Abera, S., & Mitiku, H. (2020). Effect of Curing and Drying Methods on the Biochemical Quality of Turmeric (*Curcuma longa* L.) Rhizome Grown in South Western Ethiopia. *Medicinal & Aromatic Plants*, 9(5), 1–8. <https://doi.org/10.35248/2167-0412.20.9.357>
- Hoque, M. A., & Hossain, M. A. (2018). Design and development of a turmeric polisher. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 16(2), 303–308. <https://doi.org/10.3329/jbau.v16i2.37986>
- Hung, P. Van, Maeda, T., Miyatake, K., & Morita, N. (2009). Total phenolic compounds and antioxidant capacity of wheat graded flours by polishing method. *Food Research International*, 42(1), 185–190. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2008.10.005>
- Ibáñez, M. D., & Blázquez, M. A. (2020). *Curcuma longa* L. Rhizome Essential Oil from Extraction to Its Agri-Food Applications. A Review. *Plants 2021, Vol. 10, Page 44*, 10(1), 44. <https://doi.org/10.3390/PLANTS10010044>
- Jayaprakasha, G. K., Jagan Mohan Rao, L., & Sakariah, K. K. (2005). Chemistry and biological activities of *C. longa*. *Trends in Food Science and Technology*, 16(12), 533–548. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2005.08.006>
- Jeevarathinam, G., Pandiselvam, R., Pandiarajan, T., Preetha, P., Balakrishnan, M., Thirupathi, V., & Kothakota, A. (2021). Infrared assisted hot air dryer for turmeric slices: Effect on drying rate and quality parameters. *LWT*, 144, 111258. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111258>

- Jin, W., Mujumdar, A. S., Zhang, M., & Shi, W. (2017). Novel Drying Techniques for Spices and Herbs: a Review. *Food Engineering Reviews* 2017 10:1, 10(1), 34–45. <https://doi.org/10.1007/S12393-017-9165-7>
- Joshi, P., Joshi, S., Semwal, D. K., Bisht, A., Sharma, S., & Dwivedi, J. (2021). Chemical composition, antioxidative and antimicrobial activities of turmeric spent oleoresin. *Industrial Crops and Products*, 162, 113278. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2021.113278>
- Kabak, B., & Dobson, A. D. W. (2016). Mycotoxins in spices and herbs—An update. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.772891>, 57(1), 18–34. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.772891>
- Kandarkar, S., Sawant, S., Ingle, A., Deshpande, S., & Maru, G. (1998). Subchronic oral hepatotoxicity of turmeric in mice histopathological and ultrastructural studies. *Toxicology Letters*, 95(3), 183–193. [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(98\)00035-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(98)00035-6)
- Kang, S.-K. (2007). Changes in Organic acid, Mineral, Color, Curcumin and Bitter Substance of *Curcuma longa* L. and *Curcuma atomatica* Salib According to Picking Time -Korean Journal of Food Preservation | Korea Science. *Korean Journal of Food Preservation* (한국식품저장유통학회지), 14(6). <https://koreascience.kr/article/JAKO200703534443427.page>
- Khurana, A., & Ho, C.-T. (2006). High Performance Liquid Chromatographic Analysis of Curcuminoids and Their Photo-oxidative Decomposition Compounds in *Curcuma Longa* L. <https://doi.org/10.1080/01483918808067200>, 11(11), 2295–2304. <https://doi.org/10.1080/01483918808067200>
- Kocaadam, B., & Şanlıer, N. (2017). Curcumin, an active component of turmeric (*Curcuma longa*), and its effects on health. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1077195>, 57(13), 2889–2895. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1077195>
- Komonsing, N., Khuwijtjaru, P., Nagle, M., Müller, J., & Mahayothee, B. (2022). Effect of drying temperature together with light on drying characteristics and bioactive compounds in turmeric slice. *Journal of Food Engineering*, 317. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2021.110695>
- Komonsing, N., Reyer, S., Khuwijtjaru, P., Mahayothee, B., & Müller, J. (2022). Drying Behavior and Curcuminoids Changes in Turmeric Slices during Drying under Simulated Solar Radiation as Influenced by Different Transparent Cover Materials. *Foods*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/FOODS11050696>

- Korese, J. K., & Nyame, Y. (2023). Effect of different pretreatments and drying methods on the drying kinetics and quality of turmeric (*Curcuma longa*) rhizomes. *Ghana Journal of Science, Technology and Development*, 8(2), 71–87. <https://www.ajol.info/index.php/gjstd/article/view/239586>
- Las Gaviotas - Google Maps. (n.d.). Retrieved June 5, 2022, from <https://www.google.com/maps/place/Las+Gaviotas,+Cumaribo,+Vichada/@4.5681149,-72.0102578,8z/data=!4m5!3m4!1s0x8e12c698f6f76485:0x20eb26c8e4866a8c!8m2!3d4.568115!4d-70.898407>
- Lestari, M. L. A. D., & Indrayanto, G. (2014). Curcumin. *Profiles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology*, 39, 113–204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800173-8.00003-9>
- Li, S. (2011). Chemical Composition and Product Quality Control of Turmeric (*Curcuma longa* L.). *Pharmaceutical Crops*, 5(1), 28–54. <https://doi.org/10.2174/2210290601102010028>
- Lim, H. S., Park, S. H., Ghafoor, K., Hwang, S. Y., & Park, J. (2011). Quality and antioxidant properties of bread containing turmeric (*Curcuma longa* L.) cultivated in South Korea. *Food Chemistry*, 124(4), 1577–1582. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2010.08.016>
- Llano, S. M., Gómez, A. M., & Duarte-Correa, Y. (2022). Effect of Drying Methods and Processing Conditions on the Quality of *Curcuma longa* Powder. *Processes* 2022, Vol. 10, Page 702, 10(4), 702. <https://doi.org/10.3390/PR10040702>
- Luzardo-Ocampo, I., Ramírez-Jiménez, A. K., Yañez, J., Mojica, L., & Luna-Vital, D. A. (2021). Technological Applications of Natural Colorants in Food Systems: A Review. *Foods* 2021, Vol. 10, Page 634, 10(3), 634. <https://doi.org/10.3390/FOODS10030634>
- Madhusankha, G., Thilakarathna, R. ., Liyanage, T. D., & Navaratne, S. B. (2018). Analysis of curcumin content in Sri Lankan and Indian turmeric rhizomes and investigating its impact on the colour. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 3, 03–05.
- Mæhre, H. K., Dalheim, L., Edvinsen, G. K., Elvevoll, E. O., & Jensen, I. J. (2018). Protein Determination—Method Matters. *Foods* 2018, Vol. 7, Page 5, 7(1), 5. <https://doi.org/10.3390/FOODS7010005>
- Maizura, M., Aminah, A., & Wan, A. (2011). Total phenolic content and antioxidant activity of kesum (*Polygonum minus*), ginger (*Zingiber officinale*) and turmeric (*Curcuma longa*) extract. *International Food Research Journal*, 18, 529–534.

- Mapa de Colombia, Departamentos y el mapa mudo para colorear.* (n.d.). Retrieved June 5, 2022, from <https://gooova.com/es/mapa-de-colombia/>
- Memarzia, A., Khazdair, M. R., Behrouz, S., Gholamnezhad, Z., Jafarnejhad, M., Saadat, S., & Boskabady, M. H. (2021). Experimental and clinical reports on anti-inflammatory, antioxidant, and immunomodulatory effects of *Curcuma longa* and curcumin, an updated and comprehensive review. *BioFactors*, 47(3), 311–350. <https://doi.org/10.1002/BIOF.1716>
- Meng, F.-C., Zhou, Y.-Q., Ren, D., Wang, R., Wang, C., Lin, L.-G., Zhang, X.-Q., Ye, W.-C., & Zhang, Q.-W. (2018). Turmeric: A Review of Its Chemical Composition, Quality Control, Bioactivity, and Pharmaceutical Application. *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes*, 299–350. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811518-3.00010-7>
- Resolución 10593, 13 (1985).
- Monton, C., Luprasong, C., & Charoenchai, L. (2019). Convection combined microwave drying affect quality of volatile oil compositions and quantity of curcuminoids of turmeric raw material. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 29(4), 434–440. <https://doi.org/10.1016/J.BJP.2019.04.006>
- Morris, V. J. (1990). Starch gelation and retrogradation. *Trends in Food Science & Technology*, 1(C), 2–6. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(90\)90002-G](https://doi.org/10.1016/0924-2244(90)90002-G)
- Nair, K. P. (2019). The Agronomy of Turmeric. *Turmeric (Curcuma Longa L.) and Ginger (Zingiber Officinale Rosc.) - World's Invaluable Medicinal Spices*, 85–103. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29189-1_6
- Nandiyanto, A. B. D., Wiryani, A. S., Rusli, A., Purnamasari, A., Abdullah, A. G., Ana, Widiaty, I., & Hurriyati, R. (2017). Extraction of Curcumin Pigment from Indonesian Local Turmeric with Its Infrared Spectra and Thermal Decomposition Properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 180(1), 012136. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/180/1/012136>
- National Toxicology Program. (1993). NTP Toxicology and Carcinogenesis Studies of Turmeric Oleoresin (CAS No. 8024-37-1) (Major Component 79%-85% Curcumin, CAS No. 458-37-7) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (Feed Studies). *National Toxicology Program Technical Report Series*, 427, 1–275. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12616304/>
- Nguyen Thi, K. O., Do, H. G., Duong, N. T., Nguyen, T. D., & Nguyen, Q. T. (2021). Geographical Discrimination of *Curcuma longa* L. in Vietnam Based on LC-HRMS

- Metabolomics: <https://doi.org/10.1177/1934578X211045479>, 16(10).
<https://doi.org/10.1177/1934578X211045479>
- Nisar, T., Iqbal, M., Raza, A., Safdar, M., Iftikhar, F., & Waheed, M. (2015). Estimation of total phenolics and free radical scavenging of turmeric (*Curcuma longa*). *Researchgate.Net*, 15(7), 1272–1277.
<https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2015.15.7.9527>
- Ntrallou, K., Gika, H., & Tsochatzis, E. (2020). Analytical and Sample Preparation Techniques for the Determination of Food Colorants in Food Matrices. *Foods 2020*, Vol. 9, Page 58, 9(1), 58. <https://doi.org/10.3390/FOODS9010058>
- Oke, E. O., Okolo, B. I., Nwosu-obieogu, K., Osoh, K. O., & Udeh, C. J. (2020). OPTIMIZING PROXIMATE COMPOSITION OF DRIED TURMERIC RHIZOME IN A TRAY DRYER USING RESPONSE SURFACE TECHNIQUE. *Annals.Fih.Upt.Ro*.
<http://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2020/ANNALS-2020-3-14.pdf>
- Pal, K., Chowdhury, S., Dutta, S. K., Chakraborty, S., Chakraborty, M., Pandit, G. K., Dutta, S., Paul, P. K., Choudhury, A., Majumder, B., Sahana, N., & Mandal, S. (2020). Analysis of rhizome colour content, bioactive compound profiling and ex-situ conservation of turmeric genotypes (*Curcuma longa* L.) from sub-Himalayan terai region of India. *Industrial Crops and Products*, 150.
<https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2020.112401>
- Perez, M. B., Da Peña Hamparsomian, M. J., Gonzalez, R. E., Denoya, G. I., Dominguez, D. L. E., Barboza, K., Iorizzo, M., Simon, P. W., Vaudagna, S. R., & Cavagnaro, P. F. (2022). Physicochemical properties, degradation kinetics, and antioxidant capacity of aqueous anthocyanin-based extracts from purple carrots compared to synthetic and natural food colorants. *Food Chemistry*, 387, 132893.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.132893>
- Powar, R., Patil, S., of, P. B.-I. J., & 2015, undefined. (2015). Comparative evaluation of different types of turmeric polisher. *Researchgate.Net*.
<https://doi.org/10.15740/HAS/IJAE/8.1/127-131>
- Prusinowska, R., Technologie, K. S.-N. I. i, & 2015, U. (2015). Losses of essential oils and antioxidants during the drying of herbs and spices. A review. *Bibliotekanauki.Pl*.
<https://bibliotekanauki.pl/articles/5330.pdf>
- Racz, L. Z., Racz, C. P., Pop, L. C., Tomoaia, G., Mocanu, A., Barbu, I., Sárközi, M., Roman, I., Avram, A., Tomoaia-Cotisel, M., & Toma, V. A. (2022). Strategies for Improving Bioavailability, Bioactivity, and Physical-Chemical Behavior of Curcumin.

- Molecules* (Basel, Switzerland), 27(20).
<https://doi.org/10.3390/MOLECULES27206854>
- Rahman, S. (2007). *Handbook of food preservation*. (2nd ed.). CRC Press.
- Ramesh, M., & Muthuraman, A. (2018). Flavoring and Coloring Agents: Health Risks and Potential Problems. *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes*, 1–28.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811518-3.00001-6>
- Ravi, R., Naidu, M., & Prakash, J. (2016). Influence of blanching and drying methods on the... - Google Académico. *International Journal of Applied and Pure Science And Agriculture*, 3.
- Ravindran, Babu, N., & Kandaswamy, S. (2007). *Turmeric: The genus Curcuma* (P. N. Ravindran, K. N. Babu, & K. Sivaraman (Eds.); 1 st Editi). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781420006322>
- Ray, A., Mohanty, S., Jena, S., Sahoo, A., Acharya, L., Panda, P. C., Sial, P., Duraisamy, P., & Nayak, S. (2022). Drying methods affects physicochemical characteristics, essential oil yield and volatile composition of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 26.
<https://doi.org/10.1016/J.JARMAP.2021.100357>
- Raza, A., Ali, M. A., Yusof, Y. A., Nasir, A., & Muneer, S. (2018). Effect of different drying treatments on concentration of curcumin in raw *Curcuma longa* L. *Food Research* 2, 600, 500–504. [https://doi.org/https://doi.org/10.26656/fr.2017.2\(6\).109](https://doi.org/https://doi.org/10.26656/fr.2017.2(6).109)
- Restrepo-Osorio, J., Nobile-Correa, D. P., Zuñiga, O., & Sánchez-Andica, R. A. (2020). Determination of nutritional value of turmeric flour and the antioxidant activity of *Curcuma longa* rhizome extracts from agroecological and conventional crops of Valle del Cauca-Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 49(1), 26–32.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v1n49.79334>
- Ríos-V, E., Duque-C., A. L., & León-R, D. F. (2009). Caracterización espectroscópica y cromatográfica de curcumina extraída de los rizomas de Cúrcuma (*cúrcuma longa* L.) Cultivada en el departamento del Quindío. *Revista de Investigaciones Universidad Del Quindío*, 19(1), 18–22. <https://doi.org/10.33975/RIUQ.VOL19N1.769>
- Rizzello, C. G., Nionelli, L., Coda, R., Di Cagno, R., & Gobbetti, M. (2010). Use of sourdough fermented wheat germ for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of the white bread. *European Food Research and Technology*, 230(4), 645–654. <https://doi.org/10.1007/S00217-009-1204-Z/METRICS>
- Roa, L. B. (2012). *Evaluación de las propiedades bioactivas de mora (Rubus glaucus) y*

- agraz (*Vaccinium meridionale Swartz*), en fresco y durante procesos de transformación. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11023>
- Rovina, K., Acung, L. A., Siddiquee, S., Akanda, J. H., & Shaarani, S. M. (2017). Extraction and Analytical Methods for Determination of Sunset Yellow (E110)—a Review. *Food Analytical Methods*, 10(3), 773–787. <https://doi.org/10.1007/S12161-016-0645-9/METRICS>
- Sachan, K., & Kapoor, V. P. (2007). Optimization of extraction and dyeing conditions for traditional turmeric dye. *IJTK Vol.6(2) [April 2007]*, 6(2), 270–278. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/918>
- Salata, A., Moreno Ramón, H., Pandino, G., Najda, A., Saha, G., Baran Sharangi, A., Kumar Upadhyay, T., Ahmed Al-Keridis, L., Alshammari, N., Alabdallah, N. M., & Saeed, M. (2022). *Dynamics of Drying Turmeric Rhizomes (Curcuma longa L.) with Respect to Its Moisture, Color, Texture and Quality*. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061420>
- Salehi, B., Stojanović-Radić, Z., Matejić, J., Sharifi-Rad, M., Anil Kumar, N. V., Martins, N., & Sharifi-Rad, J. (2019). The therapeutic potential of curcumin: A review of clinical trials. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 163, 527–545. <https://doi.org/10.1016/J.EJMECH.2018.12.016>
- Sánchez-Camargo, A. del P., Ballesteros-Vivas, D., Buelvas-Puello, L. M., Martínez-Correa, H. A., Parada-Alfonso, F., Cifuentes, A., Ferreira, S. R. S., & Gutiérrez, L. F. (2021). Microwave-assisted extraction of phenolic compounds with antioxidant and anti-proliferative activities from supercritical CO₂ pre-extracted mango peel as valorization strategy. *LWT*, 137, 110414. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110414>
- Sasikumar, B. (2012). Turmeric. *Handbook of Herbs and Spices: Second Edition*, 1, 526–546. <https://doi.org/10.1533/9780857095671.526>
- Scherer, G. W. (1990). Theory of Drying. *Journal of the American Ceramic Society*, 73(1), 3–14. <https://doi.org/10.1111/J.1151-2916.1990.TB05082.X>
- Sepahpour, S., Selamat, J., Manap, M. Y. A., Khatib, A., & Razis, A. F. A. (2018). Comparative Analysis of Chemical Composition, Antioxidant Activity and Quantitative Characterization of Some Phenolic Compounds in Selected Herbs and Spices in Different Solvent Extraction Systems. *Molecules* 2018, Vol. 23, Page 402, 23(2), 402. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES23020402>
- Sharifi-Rad, J., Rayess, Y. El, Rizk, A. A., Sadaka, C., Zgheib, R., Zam, W., Sestito, S., Rapposelli, S., Neffe-Skocińska, K., Zielińska, D., Salehi, B., Setzer, W. N., Dosoky,

- N. S., Taheri, Y., El Beyrouthy, M., Martorell, M., Ostrander, E. A., Suleria, H. A. R., Cho, W. C., ... Martins, N. (2020). Turmeric and Its Major Compound Curcumin on Health: Bioactive Effects and Safety Profiles for Food, Pharmaceutical, Biotechnological and Medicinal Applications. *Frontiers in Pharmacology*, 11, 1021. <https://doi.org/10.3389/FPHAR.2020.01021>
- Sharma, R., Gescher, A., & Steward, W. (2005). Curcumin: The story so far. *European Journal of Cancer*, 41(13), 1955–1968. <https://doi.org/10.1016/J.EJCA.2005.05.009>
- Sharma, S., Dhalsamant, K., Tripathy, P. P., & Manepally, R. K. (2021). Quality analysis and drying characteristics of turmeric (*Curcuma longa* L.) dried by hot air and direct solar dryers. *LWT*, 138. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110687>
- Shelake, Dabhi, Nalawade, & Jadhav. (2017). Design and development of pin mill for size reduction of turmeric (*Curcuma longa*) rhizome. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(10), 2102–2107. https://www.academia.edu/download/55227853/Design_and_Development_of_Pin_Mill_for_Size_Reduction_of_Turmeric_rhizome.pdf
- Shelake, P. S., Dabhi, M. N., Sabat, M., & Rathod, P. J. (2019). Performance evaluation of developed low-temperature grinding mill. *Journal of Food Process Engineering*, 42(8). <https://doi.org/10.1111/JFPE.13290>
- Siddiqui, N. A. (2015). Evaluation of thermo sensitivity of curcumin and quantification of ferulic acid and vanillin as degradation products by a validated HPTLC method. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 28, 299–305. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25631508/>
- Sigurdson, G. T., Tang, P., & Giusti, M. M. (2017). Natural Colorants: Food Colorants from Natural Sources. <https://doi.org/10.1146/Annurev-Food-030216-025923>, 8, 261–280. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-FOOD-030216-025923>
- Singh, G., Arora, S., & Kumar, S. (2010). Effect of mechanical drying air conditions on quality of turmeric powder. *Journal of Food Science and Technology*, 47(3), 347–350. <https://doi.org/10.1007/S13197-010-0057-6/METRICS>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3).
- Sowbhagya, H. B., Smitha, S., Sampathu, S. R., Krishnamurthy, N., & Bhattacharya, S. (2005). Stability of water-soluble turmeric colourant in an extruded food product during storage. *Journal of Food Engineering*, 67(3), 367–371.

- <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2004.05.003>
- Suresh, D., Manjunatha, H., & Srinivasan, K. (2007). Effect of heat processing of spices on the concentrations of their bioactive principles: Turmeric (*Curcuma longa*), red pepper (*Capsicum annuum*) and black pepper (*Piper nigrum*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3–4), 346–351. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2006.10.002>
- Tran, T. H., Nguyen, P. T. N., Pham, T. N., Nguyen, D. C., Dao, T. P., Nguyen, T. D., Nguyen, D. H., Vo, D. V. N., Le, X. T., Le, N. T. H., & Bach, L. G. (2019). Green technology to optimize the extraction process of turmeric (*Curcuma longa* L.) oils. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 479(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/479/1/012002>
- Yang, Q. Q., Cheng, L. Z., Zhang, T., Yaron, S., Jiang, H. X., Sui, Z. Q., & Corke, H. (2020). Phenolic profiles, antioxidant, and antiproliferative activities of turmeric (*Curcuma longa*). *Industrial Crops and Products*, 152, 112561. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2020.112561>
- Yewle, N., Swain, K. C., Mann, S., Yewle, N., Swain, K., Mann, S., Chandrasekar, V., & gesh Kalnar, Y. (2019). Effect of polishing on chemical and engineering properties of yellow and black turmeric. *Researchgate.Net*. <https://doi.org/10.21276/ap.2019.8.2.9>