

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



EFFECTO DE LA COCCIÓN Y PELADO SOBRE LOS COMPUESTOS
BIOACTIVOS, COLOR Y COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL EN LA *Curcuma*
***longa* (Cúrcuma)**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

VASQUEZ BUSTAMANTE, MARLITA

Tingo María – Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Carretera Central Km. 1.21. Teléfono (062) 561385
Apartado Postal 156 Tingo María E.mail: fia@unas.edu.pe

*"Año del Bicentenario, de la Consolidación de Nuestra Independencia, y de la
Commemoración de las Heroicas Batallas de Junín y Ayacucho"*

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 004-2024

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 31 de mayo del 2024, a horas 9:00 a.m., en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, para calificar la tesis presentada por la Bach. **MARLITA VASQUEZ BUSTAMANTE**, titulada:

**"EFECTO DE LA COCCIÓN Y PELADO SOBRE LOS COMPUESTOS
BIOACTIVOS, COLOR Y COMPOSICIÓN QUIMICO PROXIMAL EN LA
Curcuma longa (CURCUMA)"**

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran APROBADA..... con el calificativo de MUY BUENO.....; en consecuencia, la sustentante, queda **APTA** para obtener el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**, de conformidad con el artículo 45° numeral 45.2, de la Ley Universitaria 30220; los artículos 132 inciso "k" y 135 inciso "f" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 31 de mayo del 2024


M.Sc. Nancy Nery Contreras Gutiérrez
Presidenta


M.Sc. Magda Verónica Bazán Linares
Miembro


M.Sc. Yasser Everet Chiguala Contreras
Miembro


M.Sc. Lauriano Antonio Zavaleta De la Cruz
Asesor


Dra. Elizabeth Susana Ordoñez Gómez
Asesora


Ing. Darlym Reátegui Díaz
Asesor



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 211 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

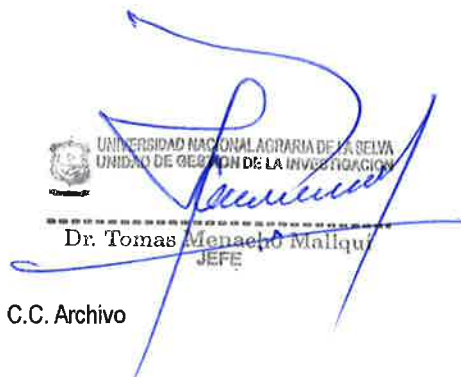
Ingeniería en Industrias Alimentarias

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFFECTO DE LA COCCIÓN Y PELADO SOBRE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS, COLOR Y COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL EN LA Curcuma longa (Cúrcuma)	VASQUEZ BUSTAMANTE, MARLITA	12 % Doce

Tingo María, 09 de julio de 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomas Menaño Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

DEDICATORIA

A Dios:

Por proporcionarme la vida, salud necesaria, brindarme sabiduría para enfrentar cada obstáculo que se presentó durante el proceso y darme la fuerza para no rendirme en ningún momento de mi educación y carrera profesional.

A mi padre y madre:

Lorenzo Vasquez Alarcón y María Alcira Bustamante Terrones por el apoyo y consejos que recibí, los cuales me hicieron alcanzar el desarrollo de mi carrera profesional.

A mis hermanos:

Leydith Margarita, Alex Nilton y Luz Yanina por su afecto, cariño, apoyo y motivación.

AGRADECIMIENTOS

- A mis padres por su apoyo, esfuerzo y por ser mi guía durante esta etapa de mi vida.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por darme la oportunidad de formarme como profesional.
- A la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentaria y docentes por brindarme sus conocimientos y consejos necesarios para mi desempeño profesional.
- A mis asesores, M.Sc. Zavaleta de la Cruz, Lauriano; Dra. Ordoñez Gómez, Susana Elizabeth e Ing. Reátegui Díaz, Darlym, por el respaldo, tolerancia y dedicación que han demostrado durante mi proceso de desarrollo profesional.
- A los miembros del jurado, M.Sc. Contreras Gutiérrez, Nancy; M.Sc. Bazán Linares, Magda Verónica y M.Sc. Chiguala Contreras, Yasser Everet por su apoyo, confianza, disposición y aporte durante la investigación desarrollada.
- A la Ing. Aurelia Isabel León Arévalo y Dr. Davy Hidalgo Chávez por el respaldo, conocimiento y amistad brindado durante la ejecución de mi tesis.
- A mis hermanos Leydith, Alex y Yanina por su apoyo, motivación en mi estudio.
- A Yuri James Ortiz Sigueñas y Kissinger Campos Murrieta por su gran apoyo durante el proceso de redacción de mi tesis.
- A mis amigos Jhuliza Mori, Maria de los Ángeles, Jennifer Mayta, Delsy Castro, Katerine Machado, Liliana Huamán, Christian Taípe y Adino Huamán por su amistad, apoyo y motivación durante mi etapa universitaria.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Generalidades de la cúrcuma.....	3
2.1.1. Definición de Cúrcuma.....	3
2.1.2. Habitud	3
2.1.3. Sembrío.....	4
2.1.4. Taxonomía	4
2.1.5. Composición química.....	4
2.2. Carotenoides	5
2.2.1. Clasificación química	5
2.2.2. Carotenoides en la dieta.....	6
2.3. Compuestos fenólicos.....	7
2.3.1. Diarilheptanoides.....	8
2.3.2. Polaridad.....	9
2.4. Radicales libres y capacidad antioxidante	9
2.4.1. Radicales libres.....	9
2.4.2. Especies Reactivas de Oxígeno (ERO) y nitrógeno (ERN)	10
2.4.3. Capacidad Antioxidante	11
2.4.4. Antioxidantes naturales	12
2.4.5. Capacidad antioxidante en la cúrcuma.....	13
2.5. Generalidades del color	13
2.5.1. Definición	13
2.5.2. Colorimetría y sistemas de medición.....	14
2.5.3. El color en la cúrcuma	15
2.6. Propiedades tecnológicas.....	16
2.6.1. Solubilidad.....	16
2.6.2. Capacidad de absorción de agua.....	18
2.6.3. Solubilidad en agua	18
2.6.4. Solubilidad del polvo de cúrcuma en aceite	18
2.7. Macroelementos y microelementos	19
2.7.1. Definición	19

2.7.2.	Clasificación	19
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1.	Lugar de ejecución.....	24
3.2.	Materia prima	24
3.3.	Material, Equipos y Reactivos.....	24
3.3.1.	Materiales	24
3.3.2.	Equipos	25
3.3.3.	Reactivos	25
3.4.	Metodología experimental.....	26
3.4.1.	Obtención y preparación de la muestra	26
3.4.2.	Diseño del experimento	28
3.4.3.	Cuantificación de carotenoides totales en el polvo de cúrcuma.....	29
3.4.4.	Propiedades bioactivas en el polvo de cúrcuma	29
3.4.5.	Evaluación del color en el polvo de cúrcuma.....	31
3.4.6.	Propiedades tecnológicas en el polvo de cúrcuma	32
3.4.7.	Determinar la composición químico proximal en el polvo de cúrcuma.....	33
3.4.8.	Determinar el contenido de macro y microelementos en el polvo de cúrcuma	35
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1.	Cuantificación de carotenoides totales en el polvo de cúrcuma	37
4.2.	Propiedades bioactivas en el polvo de cúrcuma	39
4.2.1.	Cuantificación fenoles totales	39
4.2.2.	Determinación de la capacidad antioxidante.....	42
4.3.	Evaluación del color en el polvo de cúrcuma	46
4.4.	Propiedades tecnológicas en el polvo de cúrcuma.....	48
4.4.1.	Capacidad de retención de agua	48
4.4.2.	Solubilidad en agua	51
4.4.3.	Solubilidad en aceite	51
4.5.	Determinación de la composición químico proximal del polvo de cúrcuma	52
4.6.	Determinación de macro y microelementos en el polvo de cúrcuma	54
V.	CONCLUSIONES	64
VI.	PROPUESTAS A FUTURO	65
VII.	REFERENCIAS	66
	ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Composición química de la cúrcuma	5
2. Ecuaciones de la curva estándar de los macro y microelementos	36
3. Cuantificación de polifenoles totales en polvo de cúrcuma	38
4. Cuantificación de carotenoides en polvo de cúrcuma	40
5. Evaluación de la capacidad de inhibición del radical DPPH	43
6. Evaluación de la capacidad de inhibición del radical ABTS	44
7. Evaluación de la capacidad de retención de agua, solubilidad en agua y aceite	47
8. Parámetros de color en muestras de polvo de cúrcuma	49
9. Determinación de la composición químico proximal del polvo de cúrcuma	53
10. Determinación de macro y microelementos en el polvo de cúrcuma	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Estructura química del diarilheptanoide y curcuminoides principales	6
2. Estructura química del β -caroteno (representativo de los carotenoides)	6
3. Estructura química de la crocetina.....	8
4. Modelo de color CIEL*a*b*	15
5. Estructura de la curcumina	16
6. Representación gráfica de la obtención del polvo de cúrcuma	27
7. Esquema de los tratamientos para la obtención del polvo de cúrcuma	27
8. Diseño experimental	28
9. Representación del contenido de fenoles totales	38
10. Representación del contenido de carotenoides.....	41
11. Representación del contenido de la capacidad antioxidante del DPPH ^{o+}	43
12. Representación del contenido de la capacidad antioxidante del ABTS ^{o+}	45
13. Representación en porcentaje de la capacidad de retención de agua (CRA), solubilidad en agua (SA) y Solubilidad en aceite (SAc)	48
14. Representación de los parámetros de color (L*, a*, b*) en polvo de cúrcuma	50
15. Composición químico proximal del polvo de cúrcuma	53
16. Influencia de la parte del rizoma en el contenido de calcio	56
17. Influencia de la parte del rizoma y cocción en el contenido de magnesio	57
18. Influencia de la parte del rizoma y cocción en el contenido de potasio	58
19. Influencia de la parte del rizoma y cocción en el contenido de sodio	59
20. Influencia de la parte del rizoma y cocción en el contenido de cobre	60
21. Influencia de la parte del rizoma y cocción en el contenido de hierro	61
22. Influencia de la parte del rizoma y cocción en el contenido de zinc	62
23. Influencia de la parte del rizoma y cocción en el contenido de manganeso	62

RESUMEN

Curcuma longa, condimento utilizado por la capacidad de brindar color y gran capacidad antioxidante, por ello se planteó evaluar el efecto de la cocción y pelado sobre los compuestos bioactivos, color y composición química proximal en el polvo de cúrcuma. Para los análisis se prepararon 6 muestras: pulpa sin cocción (A1), pulpa con cocción (A2), todo sin cocción (B1), todo con cocción (B2), piel sin cocción (C1) y piel con cocción (C2). Los análisis realizados fueron carotenoides, fenoles totales, capacidad antioxidante (DPPH^{o+} y ABTS^{o+}), color (CIEL*a*b*), pruebas tecnológicas (capacidad de retención de agua "CRA", solubilidad en agua "SA" y aceite "SAc"), química proximal, macro y microelementos. En los carotenoides la cocción influyó negativamente, mientras que en los fenoles totales la cocción aumentó la concentración de A2, B2 y C2 en 8,8%, 4,4% y 9,3%, respectivamente. En la capacidad antioxidante, el A2 presentó mayor contenido en DPPH⁺ y ABTS⁺. En la CRA y SAc la temperatura incrementó su porcentaje comparado con la SA, resaltando el aceite como mejor disolvente para la cúrcuma. En el color la cocción afectó L y b* de A2, B2 y C2, mientras que, en el químico proximal, macro y microelementos la cocción no influyó. Ante esto, es recomendable aplicar cocción al rizoma porque incrementa el contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante, CRA y SAc.

Palabras clave: Cúrcuma, Zingiraceae, Sustancias, Azafrán de las indias, Lipiopsida

ABSTRACT

Curcuma longa, is a condiment that is used due to its capacity to give color and its great antioxidant capacity, thus it was proposed to evaluate the effect of it being cooked and peeled on the bioactive compounds, color, and proximal chemical composition on the curcuma powder. For the analysis, six samples were prepared: uncooked pulp (A1), cooked pulp (A2), everything uncooked (B1), everything cooked (B2), uncooked skin (C1), and cooked skin (C2). The analyses that were done were carotenoids, total phenols, antioxidant capacity (DPPH[°]+ and ABTS[°]+), color (CIEL*a*b*), technological tests (water retention capacity “CRA” (acronym in Spanish), water solubility “SA” (acronym in Spanish), and oil “SAc” (acronym in Spanish)), proximal chemical, and macro and micro elements. For the carotenoids, the cooking had a negative influence, while for the total phenols, the cooking increased the concentration of A2, B2 and C2 by 8.8%, 4.4% and 9.3%, respectively. For the antioxidant capacity, A2 presented the greatest content of DPPH⁺ and ABTS⁺. For the CRA and SAc, the temperature increased the percentage, in comparison with the SA, highlighting the oil as the best dissolvent for curcuma. For the color, the cooking affected L and b* of A2, B2 and C2; meanwhile, for the proximal chemical and macro and micro elements, the cooking had no effect. In the face of this, it is recommended that the rhizome be cooked, because it increases the total phenol content, antioxidant capacity, CRA, and SAc.

Keywords: *Curcuma*, Zingiraceae, substances, Indian azafran, Liliopsida

I. INTRODUCCIÓN

La *Curcuma longa* es una especia muy comercializada a nivel mundial, presentando exportaciones e importaciones potenciales; los países con mayor exportación que sobresalen siempre son: India, Fiji, Vietnam, Países Bajos y Birmania, mientras que Estados Unidos, Bangladesh, Emiratos Árabes y Alemania tienen mayor exportación. La comercialización de la cúrcuma abarca un 0,0017% de todo el comercio mundial. La India es uno de los mayores productores de este rizoma, convirtiéndose en una especia popular, la Unión Europea la ostentó como un aditivo alimentario al que se le conoce como E-100i que posee el compuesto curcumina (Akram et al., 2010). A nivel nacional, la cúrcuma se cultiva en las regiones de Ayacucho, Junín, Cuzco, Huánuco y San Martín, producto de la gran demanda que tiene en el área gastronómica, debido a que posee un color amarillo muy llamativo, así mismo se empezó a usar para la salud, porque presenta buena capacidad antioxidante (Cosquillo et al., 2018). La producción por hectárea de este cultivo tiene un aproximado de 50 000 (cincuenta mil) plantas, de las cuales cada una presenta un peso aproximado de 0,4 kg de rizoma fresco (López, 2017). En el año 2022, el Perú recaudó \$ 3,2 millones en cúrcuma fresca, posicionándolo en el octavo lugar del mercado exportador a nivel mundial, siendo Junín (70,5%), Lima (20,2%) y otros (9,2%) los que hicieron resaltar la exportación (CIEN, 2023).

Aun cuando en el país hay producción, este cultivo no es muy valorado como el café y cacao de los cuales se obtienen derivados de forma industrial. El uso de la cúrcuma es de manera tradicional siendo muy útil en la cocina, se usa como condimento, para obtener este condimento de forma artesanal se realiza un lavado de los rizomas, se “sancocha”, se corta, se seca al sol y se muele para obtener un “polvo” amarillo, este proceso es realizado por las personas que utilizan la cúrcuma como un ingrediente para la preparación de los alimentos, por ende, las personas que hacen uso del rizoma ejecutan un tratamiento térmico “sancochar” debido a que la cúrcuma desprende resina, la cual provoca una demora en el secado, asimismo el tiempo de secado no es controlable debido a que el clima es versátil. Por lo tanto, la opción de generar un polvo de los rizomas de cúrcuma genera un ingreso económico, sin embargo, el hecho de realizar el secado al sol puede generar pérdidas de componentes nutritivos, y al no analizar el producto se desconoce la composición exacta, además que el producto no cuenta con un registro sanitario que brinde la seguridad del producto.

La cúrcuma es uno de los rizomas que es conocido por su valor medicinal, presenta 70 especies las cuales se utilizan como colorante, conservante de alimentos, especias y sobre todo resaltan por ser un alimento potencialmente terapéutico, se puede usar para tratar úlceras, diabetes, afecciones de la piel, síntomas de cáncer ya que contiene curcuminoides (curcumina,

demetoxicurcumina y bis-demetoxicurcumina), además contiene aceites volátiles, azúcares y resinas (EL-Meghawry et al., 2019). Este rizoma es usado en la fabricación de productos naturales dirigidos a la salud debido a que hay gran demanda de suplementos nutricionales en Europa, la pulpa aporta mayor beneficio, por ello en la industria de alimentos se hace uso de este, como un aditivo alimentario o pigmento dietético en vista que no presenta efectos tóxicos (Kumar et al., 2014). Razón por la cual, se pretende elaborar un polvo de cúrcuma con la aplicación de cocción y pelado a los rizomas para comprobar si dichos tratamientos presentan efecto significativo en la muestra final (polvo de cúrcuma); ante esto se planteó:

Objetivo general

Evaluar el efecto de la cocción y pelado sobre los compuestos bioactivos, color y composición química proximal en el polvo de cúrcuma.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del pelado y cocción sobre el contenido de carotenoides en el polvo de cúrcuma.
- Evaluar el efecto del pelado y cocción sobre el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante (DPPH y ABTS) en el polvo de cúrcuma.
- Evaluar el efecto del pelado y cocción sobre el color y propiedades tecnológicas (capacidad de retención de agua, solubilidad en agua y solubilidad en aceite) en el polvo de cúrcuma.
- Determinar el efecto del pelado y cocción en la composición química proximal y el contenido de macro (Ca, Mg, K, Na) y microelementos (Cu, Fe, Zn, Mn) en el polvo de cúrcuma.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades de la cúrcuma

2.1.1. Definición de Cúrcuma

La cúrcuma, conocida científicamente como *Curcuma longa* L., es una planta tuberosa que forma parte de un género que abarca alrededor de 100 especies, se caracteriza por sus hojas amplias, sus flores exhiben un vibrante color amarillo (Zagórska et al., 2023). Las hojas pueden llegar a medir hasta un metro de largo, tienen una forma lanceolada u oblongas. En el haz, las hojas presentan un color verde oscuro, mientras que en el envés son de un verde pálido y por lo general, cada planta de cúrcuma tiene entre 8 y 12 hojas (Fuloria et al. 2022). El rizoma de la cúrcuma es un tallo subterráneo horizontal que da lugar a brotes y raíces, este rizoma se divide en dos partes distintas: el “rizoma madre”, que tiene una forma central similar a una pera, y sus ramas axiales laterales son conocidas como “dedos”, éstos pueden alcanzar un tamaño de entre 4 a 7 centímetros de largo. Los rizomas tienen una apariencia tuberosa, carnosa, con una forma ovalada, piel áspera y segmentada; en el exterior presenta tonos marrones amarillentos, en tanto que el interior es de color amarillo brillante, este tono amarillo proviene principalmente de la curcumina, siendo este su componente más activo (Akram et al., 2010). La planta de cúrcuma se desarrolla cómodamente en un clima húmedo y cálido, con precipitaciones anuales de 1500 a 2000 mm, temperaturas que oscilan entre 18 y 30°C. Por la naturaleza higrófila, la planta puede desarrollarse tanto en áreas con sombra parcial como en el sol; es versátil en cuanto a tipos de suelo, adaptándose tanto a suelos arcillosos bien drenados como a suelos arenosos, siempre y cuando la altitud no supere los 1500 metros sobre el nivel del mar (Lim, 2016).

2.1.2. Habitud

Las diversas especies de cúrcuma se localizan primordialmente en países del sur y sudeste asiático, sin embargo, algunas especies se desarrollan también en el Pacífico sur y Australia. De todas las especies de la familia Zingiberaceae, la *C. longa* es la más común, debido a sus características medicinales ha sido sembrada en América Central y del Sur (Quirós et al., 2022). Esta característica se remonta a 4000 años atrás en la cultura de la India, la cual se ha empleado como especia culinaria, conservante de alimentos y colorante, además de tener un significado religioso (Camacho y Guerra, 2020). Producto de los beneficios atribuidos a esta es que se empezó a cultivar en Bengala, China, Taiwán, Perú, Australia y Tailandia (Hirun et al., 2014). Al hacer referencia sobre la producción a nivel mundial, India destaca como líder con una participación del 80%, le sigue China aportando un 8% y Myanmar con un 4% (Dutta

et al., 2023). En el continente Americano al compararse con Asia y África presenta una producción menor, sin embargo Perú y Brasil son los principales productores en América del Sur (Sierra y Selva exportadora, 2020).

2.1.3. Sembrío

Soto et al. (2004) indica que la plantación de cúrcuma se divide en dos etapas de crecimiento. La primera etapa, abarca los primeros 4 meses, se produce un desarrollo vegetativo significativo, la segunda etapa, comienza alrededor del día 300, se inicia la floración, provocando desaceleración en el crecimiento de la planta, sin embargo, esta fase conlleva un aumento de curcumina en el desarrollo de los rizomas. Durante el sexto y séptimo mes, se observa un cambio en el color de las hojas y pecíolos, que pasan a ser de color amarillo, este cambio de color se utiliza como señal para determinar el momento óptimo de la cosecha, dicha senescencia se relaciona con la disminución de la humedad del suelo, que marca el inicio de la estación seca. Por lo tanto, es crucial determinar el momento adecuado de la cosecha en función de la zona de producción y la variedad, ya que esto afecta el rendimiento, el color, aroma, los cuales están vinculados a la concentración de curcumina y oleorresina.

2.1.4. Taxonomía

Según Fuloria et al. (2022), clasifica la cúrcuma de la siguiente forma:

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Liliopsida
Subclase	: Zingiberidae
Orden	: Zingiberales
Familia	: Zingiberaceae
Género	: Curcuma
Especie	: longa
Nombre científico	: <i>Curcuma longa</i> L.

Nombre común : Azafrán cimarrón; yuquilla (Cuba), turmérico, jengibrillo (Puerto Rico), jengibre dulce, camotillo, yuquilla (Panamá), azafrán de la India, jengibre amárelo (portugués), palillo cholón, palillo chuncho, guisador, palillo (Perú).

2.1.5. Composición química

En la industria alimentaria, la cúrcuma se utiliza como un colorante natural que sustituye a los colorantes sintéticos en diversos productos, incluyendo conservas, pan,

yogur, mantequilla, entre otros. No obstante, la aplicación más notoria se encuentra en la preparación del curry (Siqueira et al., 2022). La composición según 3 estudios se presenta en la siguiente Tabla.

Tabla 1. Composición química de la cúrcuma

Composición	Porcentaje (%)		
Agua	12,0 ^a	* ^b	13,0 ^c
Carbohidratos	63,7	69,4	70,0
Grasas	4,7	5,1	5,0
Proteínas	5,8	6,3	6,0
Minerales	3,2	3,5	3,0
Aceites	4,6	*	6,0
Fibra	3,5	*	*
Curcuminoides	2,5	*	3,0 – 5,0

*Dato no mencionado por los autores. a: González et al., (2015), b: Dosoky y Setzer (2018), c: Raghavendhar y Devanand (2019)

2.2. Carotenoides

Algunos alimentos se caracterizan por ser de pigmentos coloridos debido a que añaden vitalidad visual al alimento. Los compuestos fitoquímicos responsables de dar el color brillante al alimento son los carotenoides (Khoo et al., 2011). Los carotenoides son el grupo de pigmentos más amplio, significativo y ampliamente distribuido en la naturaleza, son responsables de los colores vibrantes en tonos rojos, naranjas y amarillos que se encuentran en frutas, verduras, hongos, flores y rizomas (Nunes et al., 2013).

2.2.1. Clasificación química

Desde una perspectiva de la estructura química, los carotenoides se dividen en dos clases principales: carotenos y xantofilas. En la primera categoría, los carotenos, la estructura química está compuesta exclusivamente por átomos de carbono e hidrógeno, ejemplos notables incluyen el licopeno, α -caroteno, β -caroteno y toruleno. Por otro lado, las xantofilas, van más allá de la combinación de carbono e hidrógeno e incorpora también oxígeno en su estructura química, ejemplos representativos de este grupo son: torularodina, astaxantina, cantaxantina, luteína, zeaxantina, violaxantina y fucoxantina (Liu et al., 2021). Esta clasificación basada en la composición química indica la diversidad de los carotenoides y

resalta sus distintivas propiedades y funciones dentro del reino biológico. Los carotenoides son pigmentos naturales que presentan estructura simétrica, lineal y básica de tetraterpeno compuesta por 40 átomos de carbono, formada por la unión de 8 unidades isoprenoides de 5 carbonos (Figura 1). La característica distintiva en su sistema es que presenta dobles enlaces conjugados ubicados centralmente, los cuales actúan como cromóforos absorbentes de luz, otorgándoles el atractivo color y proporcionando el espectro de absorción visible utilizado para su identificación y cuantificación, de manera que el color del alimento está relacionado con los dobles enlaces, grupo funcional que contiene la estructura del carotenoide (Rodríguez y Kimura, 2004). Los carotenoides tienen utilidad en alimentos debido a su doble función como pigmentos naturales así como por su actividad biológica, que incluye ser provitamina A y antioxidante. Estas propiedades confieren beneficios farmacológicos que están relacionados con el tratamiento del cáncer (Camacho et al., 2004).

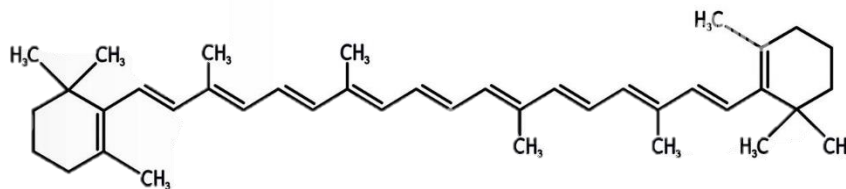


Figura 1. Estructura química del β -caroteno (representativo de los carotenoides)

Sin embargo, no todos los carotenoides presentan ocho unidades isoprenoides en su estructura química, por ende, estos compuestos están dentro del grupo denominado apocarotenoides, debido a que contienen menos de 40 átomos de carbono en su estructura, producto de escisiones en uno o ambos extremos de la molécula, como es el caso del compuesto llamado crocetina (C₂₀H₂₄O₄) en cual se indica en la Figura 2, estructura que representa al pigmento que caracteriza al azafrán (Meléndez et al., 2004).

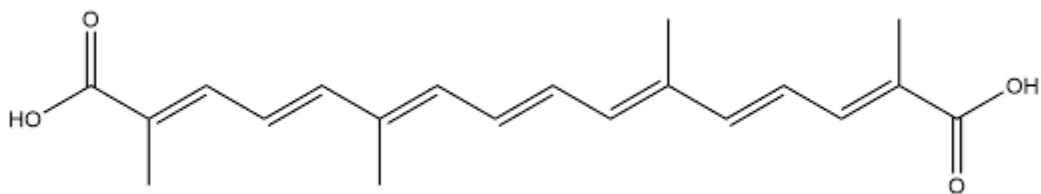


Figura 2. Estructura química de la crocetina

2.2.2. Carotenoides en la dieta

Si bien los carotenoides son sintetizados por plantas y diversos microorganismos, como algas, hongos, levaduras y bacterias, los seres humanos deben de

adquirir carotenoides mediante la dieta (Choi et al., 2020), debido a que estos en el organismos (α -caroteno y β -caroteno) funcionan como precursores de vitamina A, la cual ayuda al buen funcionamiento de los pulmones, del corazón y otros órganos (Mínguez et al., 2005), es por ello que los carotenoides son aplicados en alimentos funcionales, cosméticos, suplementos de salud (Choi et al., 2020). Además, Rodríguez y Kimura (2004) citan que los carotenoides tienen una contribución en la lucha contra enfermedades debido a que se ha vinculado primordialmente su destacada propiedad antioxidante, destacándose por su habilidad para neutralizar el oxígeno singlete e interactuar con radicales libres; la neutralización del oxígeno singlete está estrechamente relacionada con la estructura de los dobles enlaces conjugados de los carotenoides, resaltando que los que presentan mayor igual a nueve dobles enlaces exhiben una eficiencia máxima en esta capacidad, debido a que la presencia de estos enlaces conjugados en la cadena carbonada confiere a los carotenoides la habilidad de absorber la energía del oxígeno singlete, disipándola y previniendo así el daño oxidativo a nivel celular, de modo que la disposición específica de dobles enlaces conjugados en la estructura molecular de los carotenoides no solo contribuye a su coloración vibrante, sino que también desempeña un papel crucial en la capacidad para neutralizar especies reactivas de oxígeno, consolidando su importancia en la protección celular, por ende de la salud. No obstante, la investigación ha revelado la existencia de otros mecanismos igualmente relevantes, de los cuales se destaca la capacidad de los carotenoides para modular el metabolismo de carcinógenos.

2.3. Compuestos fenólicos

El término "compuestos fenólicos" hace referencia a sustancias que contienen múltiples grupos funcionales fenol, también conocido como hidroxibenceno, las cuales están unidos a estructuras aromáticas o alifáticas. Dichos compuestos se caracterizan por tener origen en el reino vegetal y generar un papel importante en la pigmentación de diversas partes de la planta (Gimeno, 2004). Los fenoles comparten la característica de contar con al menos un anillo aromático con grupos hidroxilo, esta característica los hace formar un grupo químico sumamente diverso, tanto en términos de estructura como de propiedades, abarcando una amplia variedad de compuestos que van desde moléculas simples hasta polímeros con un peso molecular superior a 30 000 Da. La importancia de los fenoles radica en su contribución al color (actúan como pigmentos), sabor (transmite astringencia y amargura), seguridad alimentaria (posee propiedades antimicrobianas) y para la salud (función antioxidante) (Delgado et al., 2019). Estos compuestos fenólicos se encuentran comúnmente en diversas partes de las plantas, desempeñan múltiples roles, como fitoalexinas (defensores naturales de las plantas contra

patógenos), antioxidantes y contribuyentes a la pigmentación de la planta. Además, los compuestos fenólicos pueden influir en características como la amargura, astringencia, color, sabor, olor y estabilidad oxidativa de los alimentos (Shahidi et al., 2019). Haciendo referencia al color que generan algunos fenoles, Llano et al. (2022) señala que los curcuminoides destacan como los principales compuestos responsables del color característico de la cúrcuma, dichos compuestos se clasifican dentro de la categoría de grupos fenólicos denominados diarilheptanoides.

2.3.1. Diarilheptanoides

Kiyama (2020) menciona que los diarilheptanoides son reconocidos como metabolitos secundarios de las plantas, se caracterizan por tener una estructura que consta de dos grupos arilo unidos por una cadena de heptano. Estos compuestos se dividen en dos categorías: los lineales, conocidos como curcuminoides, los cíclicos, como la ciclocurcumina (Figura 3). Se han registrado más de 300 diarilheptanoides en la familia Zingiberaceae y en otras familias que no están estrechamente relacionadas. Los curcuminoides pertenecen al grupo de los diarilheptanoides, que presentan una estructura arilo-C7-arilo. Estos pigmentos de color amarillo son comúnmente utilizados como agentes colorantes en alimentos y constituyen los principales compuestos activos presentes en la cúrcuma. Por lo general, estos polifenoles se encuentran en una concentración que oscila entre el 3% al 15% en los rizomas de la cúrcuma, siendo la curcumina el compuesto principal (Li et al., 2011).

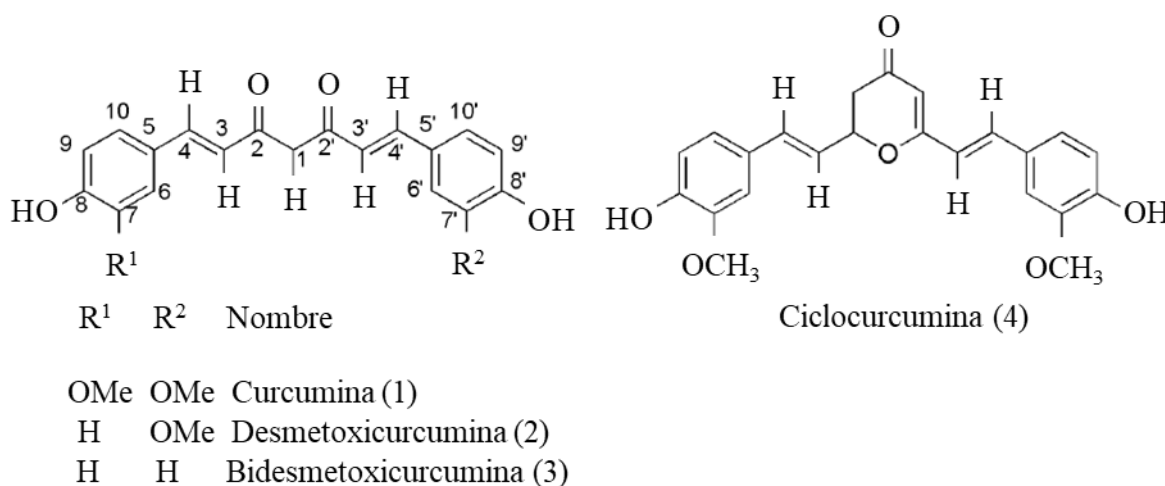


Figura 3. Estructura química del diarilheptanoide y curcuminoides principales

En el grupo de los curcuminoides se ha identificado tres compuestos principales: (1) Curcumina: ((1E,6E)-1,7-bis(4-hidroxi-3-metoxifenil)-1,6-heptadieno-3,5-diona), (2) Desmetoxicurcumina: ((1E,6E)-1-(4-Hidroxi-3-metoxifenil)-7-(4-hidroxifenil)

hepta-1,6-dieno-3,5-diona) y (3) Bisdemetoxicurcumina: ((1E,6E)-4-hidroxifenil)-7-(4-hidroxifenil) hepta-1,6-dieno-3,5-diona). Estos curcuminoides son los responsables de los colores y propiedades de la cúrcuma (Llano et al., 2022).

2.3.2. Polaridad

La determinación del contenido de fenoles depende de la polaridad de su entorno, el etanol al ser un compuesto polar es considerado como uno de los disolventes más efectivo para la extracción, debido a que la curcumina es soluble en compuestos orgánicos polares (Camacho y Guerra, 2020). Cabe recalcar que la curcumina es soluble en etanol, pero poco soluble en agua debido a que se caracteriza por ser una molécula anfipática que presenta grupos hidrófobos e hidrófilos, lo cual le da la capacidad de ser disuelto con disolventes orgánicos y ser parcialmente soluble con el agua en vista que presenta aproximadamente un valor de 3,3 de coeficiente de reparto en octanol/agua, por lo que a pesar de la polaridad de la parte central de la molécula y los grupos adyacentes, la molécula es más lipófila, además se establece que la curcumina se encuentra en centros ricos de hidratos de carbono, generando un punto a favor para la extracción de los compuesto fenólicos, debido a que en la composición de la cúrcuma está presente un 63,7 a 70% de hidratos de carbono (González et al., 2015) (Raghavendhar y Devanand, 2019).

2.4. Radicales libres y capacidad antioxidante

2.4.1. Radicales libres

Los radicales libres son átomos o conjuntos de átomos que se caracterizan por poseer un electrón desapareado, lo cual los hace extremadamente reactivos al buscar capturar un electrón de otros átomos para lograr su estabilidad electroquímica. Después de que el radical libre ha logrado extraer el electrón necesario mediante un proceso de reducción, la molécula originalmente estable que cede dicho electrón experimenta una oxidación, convirtiéndose a su vez en un radical libre al quedar con un electrón desapareado, generando el inicio de una cadena de reacciones. Dado que los radicales carecen de receptores específicos, pueden afectar de manera indiscriminada a células y tejidos vivos. Diversos tipos de radicales libres se generan como subproductos del metabolismo, como son las Especies Reactivas de Nitrógeno (ERN) y las Especies Reactivas de Oxígeno (ERO), siendo las mitocondrias, los lisosomas, los peroxisomas, retículo endoplásmico, membrana citoplasmática y nuclear, sus principales fuentes de fabricación. A parte de los subproductos, los radicales libres también se producen por diversos factores, como, por ejemplo: los medicamentos, el uso de xenobióticos

(herbicidas, pesticidas y fungicidas) y por los aditivos químicos empleados en alimentos que son procesados. En una situación normal el cuerpo contrarresta las ERO mediante diversos mecanismos antioxidantes, lo cual incluye la fabricación de enzimas como la catalasa, superóxido dismutasa y otras, con el propósito de evitar el daño oxidativo. Al superar los mecanismos de control de sustancias oxidantes, surge lo que se conoce como estrés oxidativo, esta condición se manifiesta en el organismo cuando la producción de sustancias altamente reactivas excede la capacidad, por ello, el estrés oxidativo está vinculado a diversas enfermedades como es el cáncer y trastornos cardiovasculares (Maldonado et al., 2010).

Los radicales libres circulan por el organismo con la intención de capturar electrones de otras moléculas estables, buscando así llegar a su estabilidad electroquímica, este proceso puede desencadenar reacciones en serie perjudiciales para las células cuando la producción de radicales libres se incrementa, superando la capacidad de los sistemas enzimáticos de defensa debido a factores externos, se genera el radical hidroxilo (OH^\bullet), caracterizado por su elevada capacidad oxidante, ante ello, no existe ningún mecanismo natural o enzimático de defensa. El daño inducido por los radicales libres y el estrés oxidativo puede contribuir al desarrollo de varios tipos de cáncer, sin embargo, se puede estabilizar haciendo uso de antioxidantes ya que estos interactúan con los radicales libres, de esta manera se mitiga parte del daño celular que podrían ocasionar, este efecto antioxidante no solo ayuda a prevenir el daño celular, sino que también actúa como medida preventiva contra el cáncer (Llacuna y Mach, 2012).

La curcumina exhibe diversas propiedades beneficiosas tales como anticancerígenas, antiinflamatorias y sobre todo antioxidantes. Así, los polifenoles conocidos como metabolitos secundarios, presentes en la *C. longa*, tienen la capacidad de neutralizar los radicales libres al donar un hidrógeno a dicho radical, transformándolo en una molécula estable que disminuye el peligro potencial generado por la oxidación (Pinzón et al., 2023).

2.4.2 Especies Reactivas de Oxígeno (ERO) y nitrógeno (ERN)

Los organismos aeróbicos requieren del oxígeno, catalogando dicho elemento como esencial, pero al mismo tiempo se denomina como perjudicial para los seres vivos. La molécula de oxígeno (O_2) tiene en su estructura química dos electrones libres, esto le confiere una reactividad bi-radical. Debido a esta propiedad, se produce las ERO como el anión superóxido (O_2^-), el radical hidroxilo (OH^\bullet) y compuestos que no son denominados radicales como el ozono (O_3), oxígeno singlete (1O_2) y otros. La reactividad, selectividad y especificidad son factores que determinan la capacidad prooxidante de un radical libre. En este sentido el OH^\bullet

tiende a reaccionar con cualquier molécula que se encuentre cerca debido a su alta reactividad y baja especificidad (Maldonado et al., 2010). Las ERO desarrollan un papel fundamental contra enfermedades brindando respuesta contra estas. Los curcuminoides al presentar una capacidad antioxidante por naturaleza vinculada a su capacidad para neutralizar radicales libres mediante sus sitios reactivos le confiere la capacidad de prevenir enfermedades (Quirós et al., 2022).

Maldonado et al. (2010) indican que la formación de radicales libres sucede por la transferencia de electrones desarrollada en la célula. El mecanismo utilizado para la producción de los radicales libres, con o sin participación de las enzimas, pero si utilizando iones metálicos de transición, como es el $\bullet\text{OH}$, el cual es producido siempre que el H_2O_2 se encuentra con iones como: cobre (Cu^{+2}) y hierro (Fe^{+2}), debido a que estos elementos y el peróxido de hidrogeno se encuentran en el cuerpo humano. Existen tres mecanismos para formar radicales libres:

1. Transferencia electrónica, al ceder un electrón a otra molécula.
2. Cuando la molécula pierde un protón.
3. El enlace covalente presenta una ruptura homolítica, conservando en ambos fragmentos un electrón apareado.

2.4.3. Capacidad Antioxidante

Korc et al. (1995) citan que la naturaleza presenta una paradoja frente al oxígeno, debido a que este es esencial para la vida, sin embargo, en algunos casos puede volverse tóxico, llegando incluso a ocasionar la muerte, esta dualidad refleja la complejidad y el delicado balance que existe en los procesos biológicos, donde la misma sustancia vital puede tener efectos beneficiosos o perjudiciales dependiendo de las condiciones en las que se encuentre. La respiración es un proceso fundamental para la vida humana, pero las células al hacer uso del oxígeno producen metabolitos tóxicos como las ERO. Estas inducen una elevada toxicidad en el cuerpo, por ello, el cuerpo efectúa el mecanismo antioxidante para contrarrestar el efecto, sin embargo, cuando las ERO superan la capacidad de los antioxidantes se desencadena el estrés oxidativo, provocando el desarrollo de diversas enfermedades (Pinzón et al., 2023). Una molécula con la capacidad de prevenir o retardar el proceso de oxidación de otra es denominada como un antioxidante. La oxidación es un proceso en el que se produce la transferencia de electrones de una molécula a un agente antioxidante. Estas reacciones pueden generar radicales libres, desencadenando procesos en cadena que ocasionan un daño celular. Los antioxidantes se encargan de interrumpir las reacciones, eliminando intermediarios de los

radicales libres e inhiben reacciones de oxidación al oxidarse a sí mismos; en esencia, dichos compuestos protegen las células de los daños producidos por los radicales libres (Llacuna y Mach, 2012).

2.4.4. Antioxidantes naturales

El interés en el uso de antioxidantes naturales obtenidos de extractos de plantas se presenta con un crecimiento notable, impulsado por la inquietud de algunos profesionales referido a la salud y consumidores, originando interés en la seguridad de algunos alimentos que presentan antioxidantes sintéticos. Numerosos investigadores han encontrado propiedades antioxidantes en las plantas, centrándose especialmente en aquellas comestibles, como especias y hierbas. Estas últimas son un excelente medio para encontrar compuestos fenólicos, como flavonoides, ácido fenólico (alcoholes), ácido ascórbico, carotenoides y otros, se han determinado que exhiben una destacada capacidad antioxidante (Maizura et al., 2011).

Es importante mencionar que la adopción de prácticas de vida saludable desempeña un papel crucial en el control del estrés oxidativo. Entre estos hábitos se menciona una alimentación saludable, abundante en vitaminas y antioxidantes, con un énfasis en el consumo de frutas y verduras. Además, la incorporación de especias, como la cúrcuma, durante la preparación de los alimentos es especialmente beneficiosa, ya que favorece al fortalecimiento de los mecanismos antioxidantes debido a su elevado contenido de polifenoles. Cuando estos hábitos alimenticios se combinan con la práctica regular de ejercicio físico y la reducción del consumo de alimentos altamente industrializados, los resultados son aún más notables (Pinzón et al., 2023).

La clave para mantener condiciones óptimas de salud radica en el equilibrio antioxidante, y la alteración de este equilibrio ocasiona diversas enfermedades. Por consiguiente, estudios realizados en el contenido de metabolitos secundarios en plantas, han resultado valiosos en respuesta a la fuente de antioxidantes. Este interés aplicado en diversas investigaciones científicas de alimentos, como la cúrcuma, se explica por la necesidad de comprender y aprovechar los beneficios que estos productos naturales pueden aportar al equilibrio antioxidante y por ende, a la salud en general (Quirós et al., 2022).

La curcumina posee propiedades benéficas para la salud, como antiinflamatorias y antioxidantes, ello la convierte en un componente utilizado para tratar la artritis y lesiones con el fin de disminuir la inflamación y calmar el dolor. En el caso de la artritis se utiliza polvo de cúrcuma disuelto con aceite y se aplica como masajes en el lugar afectado. Además, se administra por vía oral, siendo conocido que el consumo de leche

complementada con polvo de cúrcuma acelera el proceso de curación en casos de lesiones ocasionadas por accidentes (Prasad y Shivay, 2021).

2.4.5. Capacidad antioxidante en la cúrcuma

Maizura et al. (2011) indican que el empleo de especias y hierbas como antioxidantes se ve restringido por sus características aromáticas como también picantes; no obstante, la cúrcuma ha sido utilizada como especia colorante. La cúrcuma destaca como una especia tropical significativa, principalmente debido a su color, aroma y propiedades antioxidantes. La tonalidad amarilla característica de la cúrcuma se atribuye en su mayoría a tres pigmentos principales: la curcumina (1,7-bis(4-hidroxi-3-metoxifenil)-1,6-heptadieno-3,5-diona), la demetoxi-curcumina y la bis demetoxi-curcumina, por ende, se reconoce que estos curcuminoides exhiben notables capacidades antioxidantes.

Kutti y Lingamallu (2012) mencionan que las funciones farmacológicas del polvo, los extractos y las oleorresinas de la cúrcuma se atribuyen en su mayoría a los pigmentos curcuminoides y a los aceites volátiles, que son los principales metabolitos secundarios de esta planta. Por lo general, las oleorresinas de cúrcuma contienen una proporción significativa de pigmentos curcuminoides (diarilheptanoides, representando de 30 a 45 %) y aceites volátiles (constituyendo alrededor del 15 al 20 %) destacándolos como los responsables de producir una buena capacidad antioxidante.

El aceite esencial de cúrcuma, que se encuentra en concentraciones de 20 a 70 mL/kg, presenta abundancia significativa en hidrocarburos terpénicos como el α -zingibereno, así como en curcumenos α , β y δ . Además, contiene cetonas sesquiterpénicas como las α y β -turmeronas, junto con atlantonas, siendo este aceite el principal contribuyente al aroma distintivo de la cúrcuma. Desde un punto de vista industrial, la producción del aceite de cúrcuma tiene lugar como subproducto durante el procesamiento de la oleorresina, como resultado de la extracción de la curcumina (Rafecas et al., 2020).

2.5. Generalidades del color

2.5.1 Definición

Se define como el resultado de evaluación de una magnitud física (energía radiante) mediante la base visual del ojo humano. El color se describe teniendo en cuenta las experiencias del observador, de acuerdo con la longitud de onda, la luz roja (680 nm), anaranjada (590), amarilla (575 nm), verde (520 nm), azul (480 nm) y violeta (450 nm) las cuales están en el rango de la luz blanca, sin embargo, estas longitudes de onda varían de

acuerdo con el iluminante utilizado (González y Vicente, 2007). El color desempeña un papel crucial en la percepción sensorial y la aceptabilidad de numerosos alimentos, incluyendo granos, harinas, frutas, así como productos finales. El color es la única característica que puede medirse de forma instrumental, arrojando datos con mayor precisión que al evaluarlos visualmente (Romero et al., 2010). Esta propiedad a menudo es la primera característica sensorial que llama la atención y moldea las expectativas de los consumidores, influenciando en las decisiones de calidad durante un análisis visual, se considera crucial debido a que refleja expectativas, percepciones, susceptibilidades y preferencias hacia los productos, de manera que no solo se utiliza para indicar la frescura y calidad de los alimentos, sino que también desempeña un papel vital en el marketing y la satisfacción del consumidor (Khoo et al., 2011).

2.5.2 Colorimetría y sistemas de medición

La colorimetría de los alimentos corresponde a diferentes pigmentos, especialmente orgánicos propios de la materia prima, siendo producidos algunos durante el procesamiento, calentamiento (reacción de Maillard) y almacenamiento, generando coloraciones que son llamativas (Badui, 2006). El color puede originarse a partir de pigmentos naturales presentes en la matriz utilizada, estos pigmentos están formados por moléculas específicas llamadas cromóforos, que absorben la luz en la región visible del espectro electromagnético, la energía absorbida excita un electrón desde un nivel de energía más bajo a uno superior, mientras que la energía no absorbida se refleja y/o refracta para ser captada por el ojo humano. Esto se traduce en impulsos neuronales que se transmiten al cerebro, donde son interpretados como colores específicos (Khoo et al., 2011). La colorimetría es la rama de la física que se encarga de estudiar el color, el objetivo principal es generar una descripción numérica de los colores de manera que dos objetos con la misma especificación y condiciones siempre sean percibidos del mismo color y cualquier discrepancia en las descripciones numéricas de dos colores similares, pero no idénticos, debe correlacionarse con la diferencia de que el color real sea percibida por el observador (Lindon et al., 2016). Para medir el color se hace uso de diversos sistemas como son: Munsell, Ostwald, OSA-UCS, iluminación unidireccional $45^\circ/0^\circ$ y $0^\circ/45^\circ$, esfera de iluminación integrada $d/8^\circ$ y $8^\circ/d$ y CIELab (Alonso, 2016), este último hace uso de un colorímetro el cual presenta un orden de color desarrollado en 1976 por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), donde se utiliza 3 valores, L^* , a^* y b^* , de los cuales el L^* de la CIE es una medida de la claridad de un objeto, el valor a^* de la CIE es una medida que representa rojez (valor positivo) o verdor (valor negativo), y el valor b^* es una medida que expresa amarillez (valor positivo) o azules (valor negativo) (Ahn y Lee,

2008). Ante esto Lindon et al. (2016) expresan que el espacio CIEL*a*b* es el adecuado para la medición del color en los alimentos debido a que se caracteriza por presentar uniformidad, precisión y exactitud, además mencionan que los colores en este sistema están representados por límites, siendo en el caso de la luminosidad un rango de 0 a 100 mientras que a^* y b^* tiene un plano perpendicular a la coordenada L, indicando colores de rojo (+) a verde (-) en caso del croma a^* , mientras que para el croma b^* se representa en colores de amarillo (+) a azul (-), como se muestra en la Figura 4.

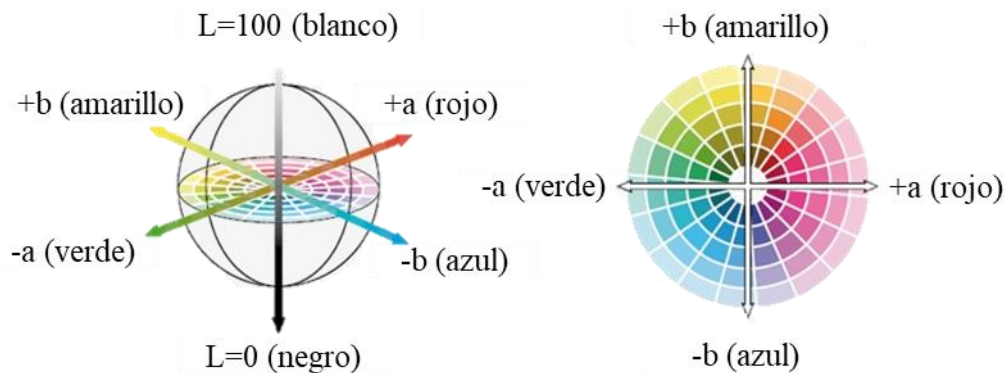


Figura 4. Modelo de color CIEL*a*b*

2.5.3 El color en la cúrcuma

La tonalidad amarilla que caracteriza a la cúrcuma se debe a los curcuminoides, los cuales son pigmentos polifenoles solubles en grasas. Entre los curcuminoides presentes en esta especia, la curcumina es el componente principal y suele considerarse el más activo, la curcumina destaca por su vibrante color amarillo y es usado como colorante en alimentos. Por ello, en términos de aditivos alimentarios, se le asigna el número E100 (Akram et al., 2010).

Curcumina ($C_{21}H_{20}O_6$): aislada por primera vez en 1815, es el principal polifenol curcuminoide que se encuentra en la cúrcuma y es el responsable principal de sus propiedades medicinales y farmacológicas. Se encuentra en compañía de la desmetoxicurcumina (curcumina II), la bisdesmetoxicurcumina (curcumina III) y la recientemente descubierta ciclocurcumina (curcumina IV). En conjunto, estos compuestos forman lo que se conoce como el complejo de azafrán indio o amarillo natural y son responsables del característico color de la cúrcuma. En la Figura 5 se muestra el esqueleto hidroxicarbonado dicetónico, el cual tiene una estructura simétrica sin centros estereogénicos, tiene dos grupos fenol los cuales se enlazan mediante un

Martínez y Iriondo (2013) definen la solubilidad como la cantidad de gramos de soluto que pueden disolverse por cada 100 g de disolvente a una temperatura específica. La clave para que una sustancia se disuelva en otra radica en la similitud de las polaridades de sus moléculas. Un ejemplo de esta interacción es el agua, un compuesto polar que disuelve con facilidad sustancias polares como ácidos, hidróxidos, sales inorgánicas y compuestos orgánicos polares. Por el contrario, ciertas sustancias se consideran insolubles cuando la cantidad de soluto disuelto es menor a 0,1 mg por cada 100 g de disolvente. Diversos factores como la temperatura, naturaleza del soluto y del solvente influyen en este proceso.

Temperatura: En general, la disolución de un soluto se ve afectado o influenciado por el incremento de la temperatura, esto se debe a dos razones principales. En primer lugar, el calor que se le agrega al sistema genera un incremento a la velocidad de difusión de las partículas del soluto dentro del disolvente. En segundo lugar, el calor suministrado es absorbido por las moléculas del soluto, generando un efecto de disminución en las fuerzas intermoleculares y, como resultado, facilitando el proceso de solvatación.

Naturaleza del soluto y del disolvente: No hay una determinada regla o proceso en específico que permita establecer una generalización precisa en relación con el fenómeno de la disolución. Cuando un soluto es añadido a un disolvente, se produce un proceso de difusión de las moléculas del soluto entre las moléculas del disolvente. Este proceso solo tiene lugar cuando las fuerzas interactivas entre las moléculas del soluto y del disolvente pueden superar las fuerzas intermoleculares existentes en el cuerpo que se dispersa. Por esta razón, los disolventes denominados polares tienden a disolver sustancias que presentan la misma polaridad. Sin embargo, este proceso puede verse afectado por la voluminosidad de las moléculas presentes en el disolvente, lo que resulta en la existencia de fuerzas intermoleculares superiores a las que podrían establecerse entre el soluto y el disolvente.

Hildebrand (2002) indica que la solubilidad y las propiedades asociadas con ella no solo ofrecen información valiosa sobre la capacidad de una sustancia para disolverse, sino que también proporcionan relevancias sobre la estructura molecular y las posibles interacciones intermoleculares. Esta comprensión integral de los fenómenos de solubilidad es fundamental para obtener información esencial en el desarrollo y procesamiento de formas de dosificación de sustancias. Por lo tanto, un conocimiento profundo de la solubilidad contribuye significativamente a la determinación de la forma final de una sustancia, permitiendo un enfoque óptimo en su aplicación y uso. Sin embargo, las propiedades funcionales no solo definen el comportamiento de los ingredientes durante la preparación y la cocción, sino que también determinan cómo influyen en los productos finales en términos de apariencia, textura

y sabor. Entre estas propiedades se encuentran la solubilidad, capacidad de absorción de agua, solubilidad en aceite, entre otras (Twinomuhwezi et al., 2020).

2.6.2. Capacidad de absorción de agua

Denominada también como capacidad de retención de agua (CRA), esta se define como la acción de agregar agua al material, seguido de un proceso de centrifugación y cuantificación del agua retenida por el material retenido en el tubo de centrifugación. La CRA adquiere relevancia debido a que la pérdida de humedad impacta negativamente tanto en el rendimiento como en la calidad del producto (Kohn et al., 2015). En los procesos de elaboración de alimentos resulta muy positivo la capacidad de retención de agua, ya que ésta contribuye a mejorar el rendimiento y confiere propiedades organolépticas adecuadas. Esto no solo optimiza la eficiencia del proceso, sino que también aporta características únicas y aceptables para los consumidores en los alimentos finales (Osundahunsi et al., 2003).

2.6.3. Solubilidad en agua

Jideani (2011), menciona en su investigación que la humectabilidad de diversos polvos de cúrcuma, tanto con o sin película en sus tratamientos, fue catalogada como "muy humectable", por otro lado, Dogoré et al. (2022), sugieren que una harina se considera muy humectable si el tiempo de humectabilidad es menor a 30 segundos, si el tiempo es menor a 60 segundos es considerada como una harina humectable, y si el tiempo es mayor a 120 segundos se considera como una harina no humectable. Jideani (2011) justifica esta observación al señalar que la humectabilidad es una propiedad funcional relacionada con el mecanismo de hidratación, la cual está vinculada a la solubilidad. Por otro lado, Schuck et al. (2007) indican que la humectabilidad de la harina de cúrcuma se da debido a la composición de los polvos, afinidad entre sus componentes y el agua, accesibilidad del agua en términos de estructura, como la porosidad y la capilaridad a los constituyentes de la harina.

2.6.4. Solubilidad del polvo de cúrcuma en aceite

La capacidad que presentan las harinas para vincularse con el aceite las convierte en herramientas valiosas en aplicaciones alimentarias que requieren una absorción óptima de aceite. Este atributo confiere a las harinas aplicaciones funcionales potenciales en la producción de pasteles y otros productos alimentarios. Además de su capacidad de absorción de aceite, algunas harinas (polvos) son propicias para realzar el sabor y la textura en la

preparación de alimentos, contribuyendo así a una experiencia culinaria más completa (Dogoré et al., 2022).

2.7. Macroelementos y microelementos

2.7.1. Definición

Los minerales son conocidos como nutrientes inorgánicos necesarios para regular y formar los miles de células vivas que componen el cuerpo, debido a que contribuyen a mantener el equilibrio de agua necesario para los procesos vitales del organismo. En general, las verduras son una fuente más rica de minerales que las frutas, pero tanto las verduras como las frutas se consideran “alimentos ricos en nutrientes” porque proporcionan cantidades sustanciales de micronutrientes, como minerales y vitaminas (De y De, 2019). Alimentos como los vegetales, frutas, cereales y legumbres son importantes en la dieta, representan una alta proporción de consumo en la ingesta dietética, de tal modo que los sistemas de alimentación basados en plantas o especias no solo proporcionan macronutrientes, sino que también son considerados como la principal fuente de micronutrientes, como los minerales, los que se definen como sustancias químicas que requieren los organismos para realizar funciones vitales. Los minerales son reconocidos como nutrientes esenciales debido a que no pueden ser sintetizados por el cuerpo, por ello se obtiene de la ingesta de los alimentos, por ende el organismo necesita minerales en grandes proporciones, como el calcio, fósforo, hierro, azufre, magnesio, potasio y cloro, mientras que en pequeñas cantidades atribuyen al yodo, cobre, cobalto, manganeso, zinc, selenio, silicio, flúor y otros (Rousseau et al., 2020).

2.7.2. Clasificación

Ma et al. (2017) indican que los minerales se clasifican en dos grupos, macroelementos y microelementos. Macroelementos, generalmente se les dice a los que se encuentran en los tejidos vegetales en un rango de mg/g de peso seco, de los cuales hacen referencia al nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Los microelementos incluyen boro, cobre, hierro, cloruro, manganeso, molibdeno y zinc, se encuentran en el alimento en $\mu\text{g/g}$ de peso seco o un rango inferior, por ello los alimentos son una fuente importante de minerales esenciales, pero desafortunadamente las deficiencias minerales son una preocupación importante en salud global debido a que la población experimenta una ingesta inadecuada de uno o más nutrientes minerales. Por otro lado Corona (2024) menciona que los nutrientes se clasifican de acuerdo a la cantidad que se requiere de ellos, siendo los

macrominerales los que se necesitan un consumo superior a los 100 mg, mientras que los microminerales o trazas son los que se consumen menos a 100 mg.

Macroelementos

Sodio (Na): Se encuentra en el jugo pancreático y la bilis, ion importante en la función neuromuscular (Hall, 2016), la absorción se lleva a cabo en el intestino y se transporta hasta llegar al riñón, donde pasa un proceso de filtrado para ir a la sangre y tener un equilibrio de la concentración (Venegas, 2007). Este equilibrio se ve manejado mediante la aldosterona, por lo tanto al aumentar la concentración de sodio en la sangre se genera la sed mediada por los receptores del hipotálamo, de tal forma que al ingerir líquido la concentración sódica se equilibra y vuelve a la normalidad, por ello la ingesta diaria recomendada de sodio es de aproximadamente 2,3 gramos para mantener una función adecuada del organismo, debido que en algunos casos se puede alterar la regulación del sodio produciendo anomalías con el sodio y provocando enfermedades (Hall, 2016).

Magnesio (Mg): En general el Mg es absorbido por las plantas en forma de Mg^{++} , debido a que esta forma iónica del Mg es la que encontramos en el suelo (Cakmak y Yazici, 2010). La importancia del Mg se ve reflejado en la catalización de sistemas enzimáticos, es necesario para la función adecuada de las enzimas, incluso aquellas que trabajan en la transferencia de los grupos fosfato (Pérez et al., 2009). De la ingesta de alimentos el 90% del Mg se absorbe en el intestino delgado, mientras que el resto en el estómago o en el intestino grueso, existen dos transportes mediados por el intestino para dicho elemento, siendo el primero por transportadores en caso sean bajas concentraciones, mientras que para las altas concentraciones se hace uso de un sistema de difusión simple. Sin embargo, se recalca que la absorción de Mg en condiciones normales va de 45 a 70% del mineral ingerido. La ingesta recomendada por día de este mineral es 300 mg (Cilia et al., 2005).

Potasio (K): Es considerado como un catión (K^+) intracelular principal para el organismo, desempeñando 2 funciones importantes, encargándose de la síntesis de las proteínas, glucógeno y efectividad de las enzimas, además se encarga de regular la concentración de K dentro de las células, estableciendo un potencial de acción para que se lleve a cabo la función muscular y neuronal (Blanco, 2019). Este mineral es considerado como importante en la función celular, debido a que la bomba de sodio-potasio la requieren la mayoría de las células, en este mecanismo se expulsa Na^+ y se atrae K^+ dentro de la célula, conduciendo el gradiente de K, el cual es responsable de mantener la diferencia de potencial a través de la membrana, por ende esta diferencia es importante para la función de las células, específicamente para los músculos

y nervios (Palmer, 2015). El K que se consume en los alimentos representa al 90%, el cual es absorbido en mayor cantidad por el intestino delgado, mientras que el riñón es encargado de eliminarlo, mediante la orina (80%), heces (15%) y sudor (5%). Para que se pueda absorber el K de los alimentos es sumamente necesario la insulina, debido a que esta actúa estimulando la entrada de K dentro de las células por la activación de la bomba Na/K (Blanco, 2019). Además, la insulina ayuda a transferir el K^+ de los alimentos ingeridos hasta el riñón para poder excretar la carga del mineral; la ingesta recomendada de este mineral es de 4,7 gramos por día para las personas adultas (Palmer, 2015).

Calcio (Ca): Denominado como el más abundante en el organismo, debido a que se encuentra aproximadamente en un total de 1 kg en un persona adulta, de tal modo que el 99% está en la composición de los huesos, mientras que el 1% está en forma libre, por ello se debe considerar la importancia de este mineral, ya que forman parte de la estructura del esqueleto, mientras que el ion de calcio forma parte de los procesos bioquímicos (permeabilidad de la membrana, coagulación y procesos enzimáticos) (Goswami, 2016). El Ca iónico es el que se utiliza en el organismo, porque presenta acción biológica, por ello actúa bajo un mando hormonal (Carral et al., 2000). En el organismo el Ca es absorbido en el intestino y riñón (reabsorción), controlados por la hormona paratiroidea y la vitamina D (Peacock, 2010). La absorción mediada por la vitamina D se da cuando la ingesta de calcio es baja, mientras que al tener una ingesta alta de Ca se hace uso de un transporte difusible no saturable que va mediada por la hormona paratiroidea (Root, 2011). La ingesta de Ca varía de acuerdo a la edad y condición de vida, dependiendo del trabajo que tenga el riñón, huesos e intestino, por ello es recomendable 700 a 300 mg diarios dependiendo de la edad y condición de la persona (Cifuentes, 2011).

Microelementos

Bakircioglu et al. (2018) indican que los microelementos son sustancias que se requieren en mínimas cantidades dentro del organismo para su desarrollo; sin embargo, son esenciales para la salud, debido a que estos elementos tienen un rol importante como parte de estructura de algunas enzimas.

Yodo (I): Es utilizado en la formación de hormonas tiroideas las cuales son responsables de la reproducción, sistema nervioso y crecimiento. Es recomendable tener una ingesta de 100 a 200 μg por día (Corona, 2024).

Zinc (Zn): La importancia del Zn en el organismo es que ayuda en el metabolismo y es primordial en la estabilidad de algunas macromoléculas, así como en la unión a proteínas nucleares. En caso de no llegar a consumir la cantidad suficiente de Zinc puede provocar

diarreas, falta de apetito en los niños y por ello afecta el crecimiento. Por otro lado, el Zinc en cantidades superiores a lo recomendado puede resultar dañino, ocasionando náuseas, dolor de cabeza, mareos y vómitos (Office of Dietary Supplements, 2022). La ingesta recomendada de este elemento varía de acuerdo con la edad, siendo 9 mg para mujeres de hasta 18 años, mientras que de 19 años para arriba es recomendable consumir 8 mg/día. En cambio en los varones mayores a 18 años se recomienda consumir 11 mg/día (Foster y Samman, 2015).

Cobre (Cu): Elemento que se desplaza por el organismo en forma cuproso (Cu^{1+}) y cúprica (Cu^{2+}). Presenta la función de formar el tejido conectivo durante el desarrollo de los huesos, músculos y corazón, además tiene participación en la producción de energía en las células en forma de trifosfato de adenosina (ATP) (Victorava & Feoktistova, 2018). El cobre actúa como componente de varias enzimas denominadas cuproenzimas, una de ellas conocida como Citocromo C oxidasa, la cual actúa en la producción de energía celular, la enzima cataliza la reducción del O_2 a agua obteniendo un gradiente eléctrico, el cual es usado por la mitocondria para producir ATP (Uauy et al., 2021). La ingesta de cobre se limita a 1 mg para los niños, mientras que para los jóvenes y adultos es 2 mg, por ello la OMS establece una mínima cantidad de 40 a 80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ según el peso corporal (Silva, 2012).

Hierro (Fe): Elemento que puede estar en forma ferrosa (Fe^{2+}) o férrica (Fe^{3+}) de acuerdo con su condición de donar o aceptar electrones. Esta característica hace ventajoso al Fe convirtiéndolo en un componente útil para los citocromos, enzimas o moléculas que transportan el oxígeno, así como la mioglobina y hemoglobina (Muñoz et al., 2014). El proceso de absorción del hierro se da en el duodeno y en el yeyuno, debido a que en el estómago no se puede absorber este elemento, ya que es necesario la secreción de ácido clorhídrico y algunas enzimas para separar el hierro y solubilizarlo, debido a que el ácido reduce el hierro a su forma ferrosa (Skikne et al., 2017). El Fe en los alimentos se encuentran como hierro hémico y no hémico, el que encontramos en alimentos vegetales es el no hémico, por ello para que este tipo de Fe se pueda absorber tiene que ser soluble, debido a que si es insoluble no es absorbido y se elimina a través de las heces. Por ello el Fe se reduce a su forma ferrosa, ya que de esta forma son más solubles que las férricas. De manera que el hierro liberado del sistema gástrico se une a ligandos intraluminales los cuales estabilizan la forma ferrosa, dándole características de solubilidad y disponibilidad para ser retenido y transportado hacia el enterocito; la ingesta diaria de este nutriente está en un rango de 8 a 11 mg (Raja et al., 2015).

Manganeso (Mn): Se puede encontrar en forma de Mn^{+2} y Mn^{+3} , sin embargo, el que es de mayor importancia en el organismo es el Mn^{+2} , debido a que presenta un papel oxidante en el organismo. La absorción del Mn se da en el intestino delgado, de tal forma que está en

competencia con el Fe y Co por los sitios en común que tienen, por lo tanto, uno de ellos tiende a ejercer efecto inhibitorio frente a la absorción de los otros. La importancia de este mineral se enfoca en la síntesis de proteínas como biotina, vitamina C y B1, debido a que tienen un rol esencial en la digestión de los alimentos haciendo uso de péptidos los cuales son usados para la síntesis de colesterol y metabolismo de la glucosa, además el Mn forma la urea a través de la enzima arginasa, de manera que ayuda en la limpieza del riñón (Paredes, 2007). Para conservar una buena salud se requiere de una ingesta de 2,3 a 8,8 mg por día, sin embargo la ingesta puede sobrepasar el límite al consumir alimentos con niveles elevados de Mn debido a su contaminación (Ayala y Azcona, 2018).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El desarrollo del trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de secado y en el laboratorio Bio centro, pertenecientes a la Universidad Nacional Agraria de la selva ubicada en la ciudad de Tingo María, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco, situada a 660 msnm 09°17' 08" de Latitud sur, 75° 59' 52" de Latitud oeste, cuyo lugar se distingue por tener un clima tropical húmedo, humedad relativa media de 85,67%, temperatura anual media de 25,5 °C ± 1°C y precipitación máxima anual de 3179 mm.

3.2. Materia prima

La *Curcuma longa* se recolectó de una parcela perteneciente al agricultor Vasquez Alarcón, Lorenzo; localizada en el Centro Poblado de Santa Cruz, perteneciente al distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache, región San Martín, ubicado a 563 msnm, con una latitud Sur de 8° 33' 14.3" S, longitud Oeste de 76° 16' 57.7" W, presenta un clima seco y cálido referido a los lugares que están en márgenes del río Huallaga, la temperatura media anual máxima es de 29°C y la mínima de 18°C.

El área de cultivo fue ¼ de hectárea (2500 m²), la siembra se realiza en cualquier época del año, sin embargo, es recomendable hacerla en época de lluvia, iniciando el cultivo en el mes de octubre, de modo que la cosecha se efectúe en la época seca que va de marzo a agosto; para la siembra es necesario aflojar el terreno (30 a 50 cm de profundidad), debe estar libre de piedras o raíces de otros árboles, de modo que el suelo sea adecuado para el crecimiento del rizoma; la cosecha se realiza entre los 7 a 9 meses de sembrado, específicamente cuando el follaje de la planta tiende a tornarse amarillo y empieza a secarse. Para la comercialización de la cúrcuma se tiene que cumplir la norma de calidad, la cual indica que los rizomas secundarios o dedos deben tener como tamaño mínimo 2,5 cm de largo y 1 cm de grosor, por debajo de estas especificaciones el producto no puede ser comercializado.

3.3. Material, Equipos y Reactivos

3.3.1. Materiales

Machete, modelo: 127H-Ppn12, marca: Bellota, origen: Perú; Cuchillo, modelo: TMP180G, marca: Stainless steel, origen: España; Canasta de carrizo; Bandeja para horno perforada de 46 x 30 cm, marca: Erreke, origen: Europa; Rallador multifuncional con

dimensiones de 20 x 10 x 1 cm; Olla, modelo: ALP-14, marca: Update International, origen: México; Guantes de vinilo RV05; Tamiz N° 80, marca: Tyler, país: U.S.A; Frascos de vidrio para guardar las muestras; Vaso de precipitado de 50 mL, modelo: 101000007, marca: Pyrex®, origen: Francia; Tubos cónicos de polipropileno para centrífuga, modelo: SO10404, marca: Solmeglas, origen: España; Piseta de polietileno transparente de 250 mL; Puntas pipeta azules con capacidad de 100 – 1000 µL; Tubos Eppendorf con capacidad de 2 mL; Cubeta de poliestireno, marca: Deltalab, serie: 30310, país: España; Cubetas de vidrio; Probeta de 100 mL \pm 1 mL, marca: LMS, país: Alemania; Vaso de precipitado de 100 mL, marca: BOEGO, país: Alemania; embudo de vidrio; Matraz de 100 mL, marca: Eurolab, país: Alemania, pinza de metal; fiola de 25 mL \pm 0,04 mL, marca: Duran, país: Alemania; papel filtro de pasada rápida N°42; placa Petri; crisol; desecador; dedal de celulosa; tubo de digestión.

3.3.2. Equipos

Secador por lecho fluidizado, marca: Industria merino (IM), país: Perú; Molino de cuchillas, modelo: GM 200, marca: Retsch, país: de procedencia alemana; Balanza analítica, modelo: ABT 220-4NM, marca: KERN, país: Alemania; Agitador con vórtice, modelo: (G560) SI-0256, marca: Scientific Industries SI™, país: Estados Unidos; Agitador orbital, modelo: SCI-O330-Pro, marca: SCIOLOGEX, país: EE.UU; Micropipeta, modelo: 100 – 1000 µL, marca: Kytel, país: Perú; Centrífuga, modelo: 314934, marca: Hettich, país: Alemania; Refrigeradora, modelo: FFTR1835VW, marca: FRIGIDAIRE, país: EE.UU; Espectrofotómetro UV/vis, modelo: Genesys 150, marca: Thermoscientific, país: USA; Centrífuga universal, modelo: PLC-036; marca: K-GEMMYCO, país: China; Chroma meter, modelo: CR-400, marca: KONICA MINOLTA, país: Japón; Plato de calibración N° 12133086; Accesorio Granular-Materials attachment, modelo: CR-A50, marca: KONIVA MINOLTA, país: Japón; Placa de cocción digital, marca: DAIHAN, modelo: HLP-C-P, país: Korea; espectrofotómetro de absorción atómica, marca: Varían, modelo: SpectrAA - 55B, país: Alemania; Fat extractor, marca: Buchi, modelo: E-500, país: Suiza; Micro Kjeldahl, marca: Prolab, modelo: GL-MKD, país: Brasil y Analizador de fibra, marca: Velb científica, modelo: Fiwe, país: España.

3.3.3. Reactivos

Ácido gálico monohidratado (C₇H₆O₅) al 98 %, marca: Sigma-Aldrich®, peso molecular: 188,14 g/mol; Alcohol etílico al 70% v/v (etanol al 70%) con 0,789 g/cm³ de densidad y 46,07 g/mol de peso molecular; Agua destilada (H₂O); Folin - ciocalteu phenol

reagent - Himedia (2,1 N); Carbonato de sodio al 7,5 % (Na_2CO_3), marca: Scharlau C, país: España; Eter de petróleo, marca: Biopack, país: Argentina, densidad: 0,625 – 0,660 g/cm³, peso molecular: 87-90 g/mol; metanol (CH_3OH), densidad: 792 kg/m³, peso: 32,04 g/mol, país: Perú; Trolox ($\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_4$), marca: Merck, país: Alemania; Azino-bis (3- ettrylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) 98% pureza, país: USA; 1,1- Diphenyl-2-picril-hidrazil (DPPH) 90% pureza, país: USA; persulfato de Potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$), densidad: 2,48 g/cm³, peso: 270,322 g/mol; ácido nítrico al 65%; ácido perclórico al 98%; ácido bórico, rojo de metileno; azul de metileno; 1-octanol; eter; ácido sulfúrico (H_2SO_4); Hidróxido de potasio (KOH); ácido clorhídrico (HCl); Sulfato de potasio (K_2SO_4); sulfato cúprico (CuSO_4).

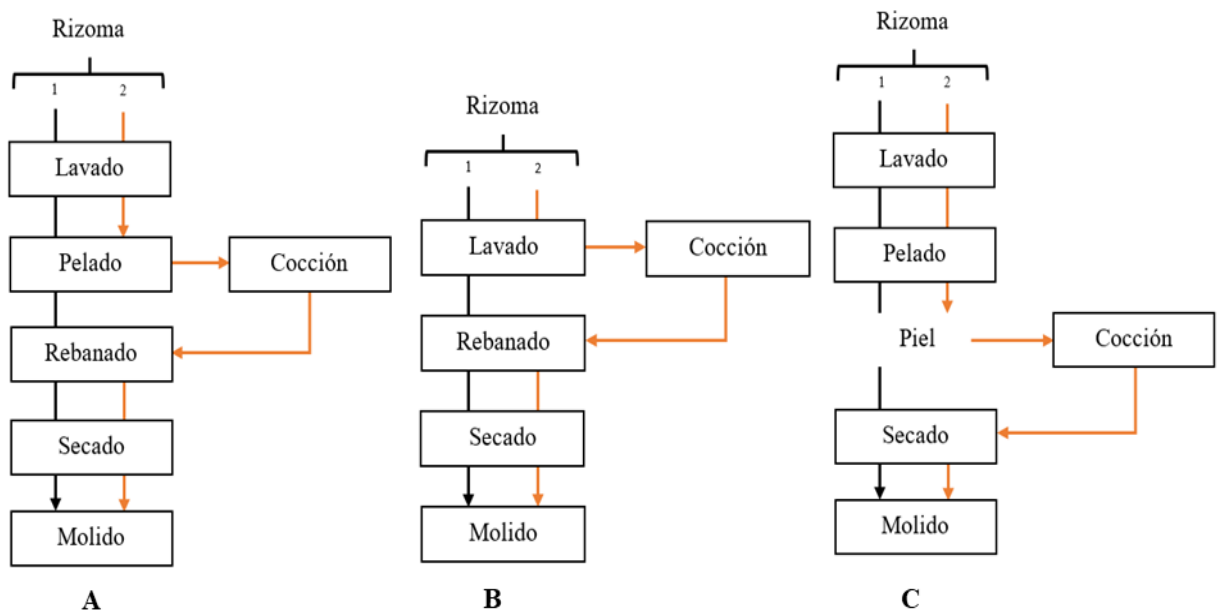
3.4. Metodología experimental

3.4.1. Obtención y preparación de la muestra

La cosecha se efectuó en el mes de abril, para esta operación se utilizó un machete con el cual se aflojó la tierra, facilitando la remoción de los rizomas evitando el daño físico, estos se colocaron en una canasta de carrizo, efectuando el transporte adecuado hacia las instalaciones del laboratorio. Se ejecutó el lavado con agua corriente para quitar el exceso de tierra, se dejó orear en bandejas perforadas durante 20 minutos, teniendo un peso total de 10 kg; se realizó el pelado para separar la piel y usarla del mismo modo que la pulpa; la cocción se realizó hirviendo el agua, donde se colocó las cáscaras, pulpa o rizoma entero durante 30 minutos; el rebanado se aplicó a la pulpa del rizoma con y sin cocción; para el secado en lecho fluidizado a 50°C se colocó las muestras en telas de tergal y en el intervalo de cada hora las muestras se removían, generando un secado uniforme, el tiempo de secado se dio entre 6 a 7 horas y se consideró el final de esta operación cuando el peso de las muestras se volvieron constantes como se muestra en el (Anexo-I); la operación de molido se dio hasta obtener un polvo (Figura 6) que pasó por un tamiz Tyler N° 80; las operaciones descritas se efectuaron en el orden que se muestra en la Figura 7. Culminado todas las operaciones por tratamiento se colocó la muestra molida en envases de vidrio y se cubrió con papel aluminio para almacenar en frío hasta su posterior análisis. Para el desarrollo de la investigación se llevó a cabo 3 pruebas, en la primera “A” se ejecutó el A1 (control) el cual involucró pulpa sin cocción y (A2) pulpa con cocción; en la segunda prueba “B” el B1 (control) todo sin cocción y (B2) todo con cocción, por último, la tercera prueba “C” el C1 (control) se evaluó piel sin cocción y (C2) piel con cocción.



Figura 6. Representación gráfica de la obtención del polvo de cúrcuma.



A1: Pulpa sin cocción, A2: Pulpa con cocción; B1: Todo sin cocción, B2: Todo con cocción; C1: Piel sin cocción, C2: Piel con cocción.

Figura 7. Esquema de los tratamientos para la obtención del polvo de cúrcuma.

3.4.2. Diseño del experimento

Para el desarrollo de la investigación se consideró 6 tratamientos, A1 pulpa sin cocción, A2 pulpa con cocción, B1 todo sin cocción, B2 todo con cocción, C1 piel sin cocción y C2 piel con cocción.

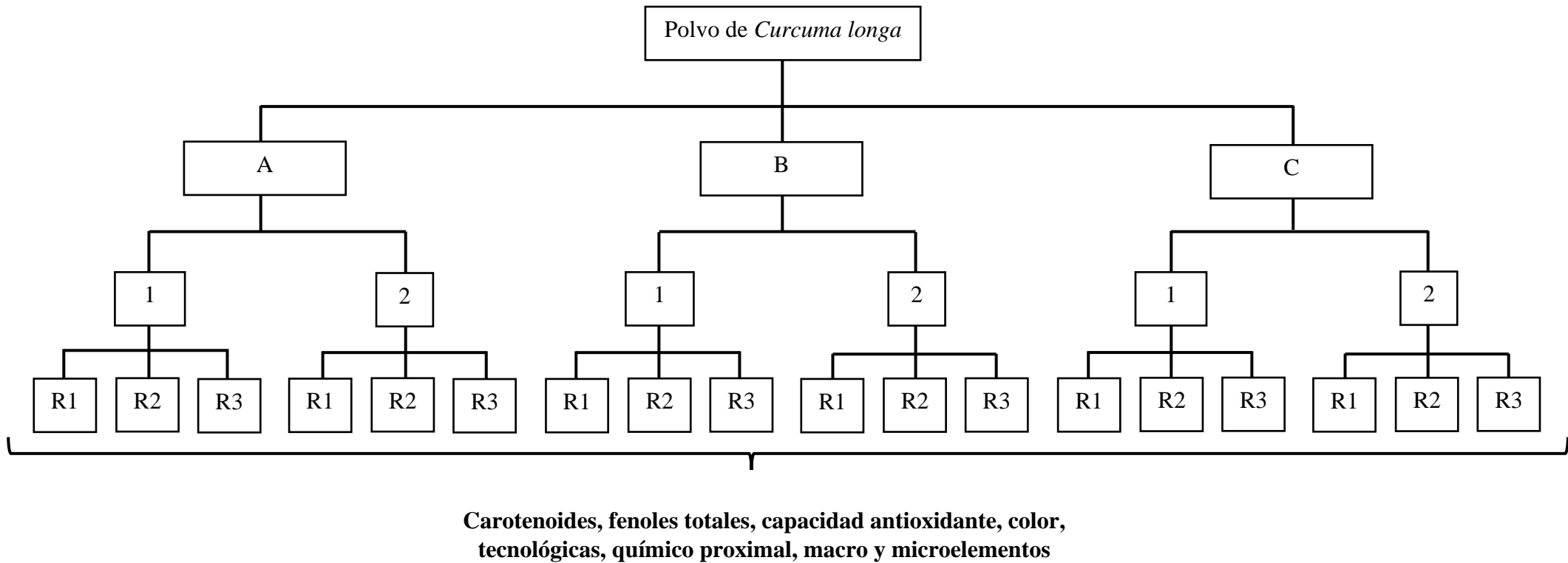


Figura 8. Diseño experimental para evaluar el efecto del pelado y cocción sobre los carotenoides, propiedades bioactivas, color, tecnológicas, químico proximal, macro y microelementos en el polvo de cúrcuma.

3.4.3. Cuantificación de carotenoides totales en el polvo de cúrcuma

Preparación del extracto: Se preparó siguiendo el protocolo propuesto por Silva et al. (2015) y algunas modificaciones, se pesó 0,1 g de muestra seca de cada tratamiento y se mezcló con 4 mL de eter de petróleo, obteniendo una concentración de 250 mg/mL, se agitó por 5 minutos, se enrazó con 4 mL más de eter, se tapó y se dejó en agitación durante 30 minutos, se realizó un centrifugado (10000 rpm/ 10 min a 4°C), se procedió a colocar en el espectrofotómetro y se realizó la lectura a una longitud de onda de 450 nm.

$$\text{Carotenoides totales (g/100g)} = \frac{A * FD * V}{E_{1\%}^{1\text{cm}} * P} \quad (1)$$

Donde: A= absorbancia a 450 nm; FD= factor de dilución; V= volumen del extracto; P= peso de la muestra, $E_{1\%}^{1\text{cm}}$ =coeficiente de extinción del β -caroteno en eter de petróleo (2500).

Análisis de muestras: Las muestras de cada tratamiento tuvieron una dilución FDM 1:4 posterior a esto se colocó 3 mL de muestra de cada tratamiento en diferentes cubetas y se procedió a la lectura de la absorbancia a una longitud de onda de 450 nm en el espectrofotómetro UV-Visible Lako et al., (2007), con los resultados se realizó los cálculos haciendo uso de la Ecuación (1), expresándose los resultados en g de carotenoides /100g.

Análisis estadístico: Los resultados del contenido de carotenoides del polvo de cúrcuma sometidos a cocción y pelado, se analizaron haciendo uso de un diseño completamente al azar (DCA), la diferencia estadística significativa fue mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) mediante el uso del programa estadístico INFOSTAT versión libre.

3.4.4. Propiedades bioactivas en el polvo de cúrcuma

3.4.4.1. Análisis para la cuantificación de fenoles totales

Preparación del extracto: se preparó según el método de Aranda et al. (2021) y modificaciones, se pesó 0,1 g de muestra de cada tratamiento y se mezcló con 30 mL de una solución de etanol al 70% v/v (30 mL de agua destilada con 70 mL de etanol) obteniendo una concentración de 33,33 mg/mL, la mezcla fue tapada herméticamente y macerada por 24 h en constante agitación, se centrifugó (10000 rpm/ 10 min a 4°C) y el sobrenadante se almacenó en congelación hasta su posterior análisis.

Preparación curva estándar: se siguió el protocolo propuesto por Peláez et al. (2019) con algunas modificaciones, para la curva se utilizó como estándar ácido gálico (stock) a una concentración de 1 000 $\mu\text{g/mL}$, a partir de esta se prepararon cinco concentraciones (1; 2,5; 5; 7,5 y 10 $\mu\text{g/mL}$); y de cada una se tomó 100 μL para colocarla en una cubeta de poliestireno, se incluyó una cubeta más con 100 μL de agua destilada (blanco), se agregó 500 μL de Fenol Folin Ciocalteu a 0,2 N, se puso a reposar a temperatura ambiente durante 8 minutos, se adicionó 400 μL de carbonato de sodio a 7,5 %, se dejó por 2 horas en la oscuridad a temperatura ambiente, la lectura de datos de la absorbancia se efectuó a 740 nm en un espectrofotómetro UV/VIS. Con los resultados que se obtuvo se graficó la curva “concentración vs absorbancia” con la cual se determinó la ecuación $y = 0,099x + 0,0069$ de primer orden y el coeficiente de determinación $R^2 = 0,9999$ (Anexo-II).

Análisis de muestras: Las muestras de cada tratamiento (33,33 mg/mL), tuvieron una dilución FDM 1:5. El protocolo aplicado fue de Mena et al. (2011) con modificaciones, se colocó 100 μL de cada muestra en cubetas y se continuó la misma secuencia de reacción que se aplicó para la preparación de la curva estándar. La lectura se utilizó en un espectrofotómetro UV/VIS a 740 nm, con el cual se obtuvo la lectura de las absorbancias y con estas se reemplazó en la ecuación que se generó a partir de la curva estándar, de forma que permite determinar la concentración de fenoles totales, la cual se expresa como mg EAG/100 g.

Análisis estadístico: Los resultados del contenido de fenoles en las muestras de polvo de cúrcuma, se analizaron mediante el diseño completamente al azar (DCA), y la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), se usó el programa estadístico INFOSAT versión libre.

3.4.4.2. Determinación de la capacidad antioxidante

Análisis de la capacidad antioxidante para inhibir DPPH⁰⁺

La capacidad inhibidora de radicales libres DPPH de cada muestra se determinó utilizando el espectrofotómetro UV visible, según el método descrito por Leong y Shui (2002).

Preparación de la curva estándar: Se preparó un stock de 1 mM de DPPH en metanol, de la cual se preparó una solución de 0,1 mM, cuya absorbancia inicial y final se mantuvo en un rango de $1 \pm 0,05$, medido a 515 nm sin cambió durante el período de ensayo (control). Se preparó cinco concentraciones del estándar Trolox que estuvieron en un rango de 0,1 a 1,5 mM; se colocó en cubetas una alícuota de 25 μL de cada concentración, se añadió 975 μL de DPPH; la lectura de la absorbancia se midió a 515 nm después de 20 minutos. Con los resultados de la absorbancia y la aplicación de la ecuación de Lamber-beer se generó la ecuación $y=20,081x+0,0406$ con $R^2= 0,9989$ (Anexo-III).

Análisis de muestras: En una cubeta se añadió una alícuota del extracto (25 μL) y se colocó 975 μL de DPPH, después de 20 minutos de reacción se realizó la lectura de la absorbancia a 515 nm, los resultados fueron reemplazados en la ecuación de la curva estándar se expresaron como mili mol de equivalentes Trolox por 100 gramos de muestra seca ($\text{mmol ET}/100\text{g}_{\text{ms}}$).

Análisis de la capacidad antioxidante para inhibir ABTS⁰⁺

El ensayo ABTS fue determinado de acuerdo con la metodología descrita por Leong y Shui (2002) con algunas modificaciones.

Preparación curva estándar: El radical ABTS se preparó mediante la reacción de 7 mM de ABTS en agua y 2,45 mM de persulfato de potasio almacenado en ambiente oscuro a temperatura ambiente por un periodo de 12 h. Antes de su uso, la solución ABTS⁰⁺ fue diluida hasta una absorbancia de 0,7 a 734 nm. Se preparó una solución stock de Trolox (2mM) diluido en metanol, a partir del cual se preparó concentraciones en el rango de 0,1 – 1,5 mM. De cada una de las concentraciones se extrajo una alícuota (10 μL) la cual se hizo reaccionar con 990 μL ABTS⁰⁺, la absorbancia se midió después de 20 min. Con los resultados obtenidos de la absorbancia y la aplicación de la ecuación de Lamber -beer se obtuvo $y = 31,866x + 0,0147$ con $R = 0,9999$ (Anexo-IV)

Análisis de muestras: De las 5 concentraciones se extrajo una alícuota (10 μL) la cual se hizo reaccionar con 990 μL ABTS⁰⁺, y se midió la absorbancia después de 20 min. Los resultados fueron reemplazados en la ecuación de la curva, se determinó la capacidad de inhibición del radical ABTS y los resultados se expresaron como mili mol de equivalente Trolox por 100 gramos de muestra seca ($\text{mmol ET}/100\text{g}_{\text{ms}}$).

Análisis estadístico: Los resultados de la capacidad antioxidante para inhibir los radicales libres DPPH y ABTS en las muestras de polvo de cúrcuma sometidos a cocción y pelado, se analizaron haciendo uso de un diseño completamente al azar (DCA), algunos tratamientos presentaron diferencia estadística significativa y por ello se aplicó la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) el cálculo fue mediante el programa estadístico INFOSTAT versión libre.

3.4.5. Evaluación del color en el polvo de cúrcuma

Este análisis se hizo siguiendo la metodología de Schmitzer et al. (2010) con algunas modificaciones. Se midió con un colorímetro portátil (CR-400 Kónica Minolta) con iluminante C. El equipo hace uso de un sistema de medición CIEL*a*b*, que mide en términos de luminosidad (L^*), la cual corresponde a una escala oscuro-brillante y representa la claridad

relativa de los colores con un rango de 0 a 100 (0 = negro, 100 = blanco), mientras que la cromaticidad se mide en parámetros de color a^* y b^* , los cuales se extienden de -60 a 60 ; a^* negativo es para verde y a^* positivo es para rojo y b^* negativo es para azul y positivo para amarillo. Se encendió el equipo, se calibró con una placa de calibración estándar blanca antes de su uso, se colocó la muestra en el CR-A50 hasta cubrir el área total y se procedió a tomar las lecturas en la PC por 10 veces para asegurar la igualdad de condiciones en la medición, entre cada lectura se realizó la limpieza del accesorio de color para colocar una muestra nueva.

Análisis estadístico: Los datos obtenidos de la evaluación del color fueron un experimento factorial en diseño en bloques diseño al azar de 3×2 , siendo el primer factor la parte del rizoma (pulpa, todo y piel), segundo factor (pelado y cocción). Los resultados fueron procesados a través de ANOVA 10 vías y la prueba posteriori de Tukey, a un nivel de significancia ($p \leq 0,05$). También se realizó el análisis de diseño completamente al azar (DCA), con el objetivo de describir la variación principal de los datos de color, con el apoyo del programa de R versión 4.1.3.

3.4.6. Propiedades tecnológicas en el polvo de cúrcuma

3.4.6.1. Análisis de solubilidad y capacidad de retención en agua

La prueba fue evaluada según el método de Dogoré et al. (2022) con algunas modificaciones. Se pesó 0,5 g de muestra, se colocó en un tubo de centrífuga y se agrega 10 mL de agua destilada. Se dejó en agitación durante 30 min, la mezcla se mantuvo en un baño de agua (37°C) durante 30 min, se centrifugó a 5000 rpm durante 15 min, el sedimento resultante (M2) se pesa y se seca a 50°C durante 12 horas (M1). Con los datos obtenidos se calculó la solubilidad en agua que tiene el polvo de cúrcuma, haciendo uso de la Ecuación (2) y se determinó la capacidad de retención de agua haciendo uso de la Ecuación (3).

$$SA(\%) = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100 \quad (2)$$

Donde: SA (%) = Solubilidad en agua (%); M_0 = Peso original de la muestra (g); M_1 = Peso seco de la muestra luego del secado (g).

$$CRA(\%) = \frac{M_2 - M_1}{M_2} \times 100 \quad (3)$$

Donde: CRA (%) = Capacidad de retención de agua (%); M_1 = Peso de la muestra luego del secado (g); M_2 = Peso del precipitado de la muestra después de la centrifugación (g).

3.4.6.2. Método de evaluación para solubilidad en aceite

El análisis se determinó por el método de Dogoré et al. (2022) y modificaciones. Se pesó 1g de muestra para diluirlo con 10 mL de aceite haciendo uso de un agitador durante 30 minutos, se dejó reposar la muestra durante 30 min a temperatura ambiente, se centrifugó a 5000 rpm durante 15 minutos, se midió el aceite no absorbido en una probeta graduada y se anotó el volumen. Se determinó la densidad del aceite. El volumen de aceite absorbido se multiplicó por la densidad del aceite para determinar el peso del aceite absorbido, como se muestra en la Ecuación (4).

$$SAc (\%) = \frac{(V1-V2) \times \delta(0,90239)}{W} \times 100 \quad (4)$$

Donde: SAc (%) = Solubilidad en aceite (%); V1= volumen inicial del aceite utilizado; V2= volumen de aceite no absorbido; δ , = densidad del aceite utilizado; W = peso de la muestra.

Análisis estadístico: Los resultados de CRA, SA y SAc en las muestras de polvo de cúrcuma, se analizaron haciendo uso de un diseño completamente al azar (DCA) y la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), el cálculo fue mediante el programa estadístico INFOSTAT versión libre.

3.4.7. Determinar la composición químico proximal en el polvo de cúrcuma.

Humedad: AOAC 1970.925.10, se pesó la placa Petri y se incorporó un peso de 2 gramos de muestra (P1), la placa con la muestra se colocó durante una hora en el horno a una temperatura de 130°C. Se dejó enfriar y se colocó en la campana de desecación hasta llegar a una temperatura ambiente y pesar (P2). Se utilizó la Ecuación (5) para calcular el porcentaje de humedad.

$$\%Humedad = \frac{(P_1 - P_2)}{m} * 100 \quad (5)$$

Donde: P_1 = Peso de la placa + la muestra húmeda (g) P_2 = Peso de la placa + la muestra seca (g) y m = Peso de la muestra húmeda (g).

Proteína: Para el análisis se consideró el protocolo propuesto por Poblete et al. (2020); se pesó 1 g de polvo de cúrcuma y se transfirió a un tubo de digestión, se añadió 10 mL de ácido sulfúrico concentrado y paralelo se preparó un blanco y comenzó la digestión a 380°C, se utilizó un catalizador obtenido por la mezcla de K_2SO_4 : $CuSO_4$ (10:1) para llegar a la temperatura deseada. La digestión duró dos horas, verificando que la muestra sea clara y no tenga material carbonizado, se enfrió los tubos y se diluyó con 50 mL de agua desionizada, agitando hasta su completa disolución, cada tubo se llevó al sistema de destilación y se colocó un matraz con

ácido bórico (4% p/v) y dos gotas del indicador rojo de metilo y una gota de azul de metileno para recoger el destilado, la destilación se llevó a cabo durante 10 minutos y se terminó valorando el destilado con HCl 0,1 M normalizado hasta que el indicador cambió de color de verde a rosa. Se registró el volumen consumido de HCl y se ejecutó los cálculos de acuerdo con la Ecuación (6):

$$\%Nitrógeno = \frac{(mL \text{ ácido valorante} - mL \text{ blanco}) \times N \text{ del ácido} \times 1,4007}{\text{peso de la muestra}} \quad (6)$$

$$\% \text{ Proteína bruta} = \%N \times \text{Factor de proteína}$$

El factor de proteína que se usará es 6,25. Las mediciones se realizarán por triplicado.

Fibra cruda: Se utilizó el método AOAC 1970.978.10. se pesó 0.5 g de muestra en un crisol de vidrio y se sometió a digestión ácida utilizando 150 mL de H₂SO₄ al 1.25% durante 30 minutos. Se añadió 0.2 mL de 1-octanol como antiespumante. Posteriormente, se realizó el lavado con 50 mL de agua destilada tres veces. A continuación, se llevó a cabo una digestión alcalina con 150 mL de KOH al 1.25% durante 30 minutos, también añadiendo 0.2 mL de antiespumante. Finalmente, se realizó el lavado con 50 mL de agua destilada por tres veces. Los crisoles se dejaron secar en una estufa a 130°C, se enfriaron en un desecador y se pesaron con una precisión de 0.0001 g (W_{seco}). Luego, se introdujeron en una mufla a 525 °C durante 3 horas, se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron nuevamente con una precisión (W_{ceniza}). El porcentaje de fibra cruda se calculó mediante la ecuación (7).

$$\%Fibra \text{ cruda} = \frac{W_{seco} - W_{ceniza}}{W_{muestra}} * 100 \quad (7)$$

Donde: W_{seco} = peso de la muestra tras el secado (g), W_{ceniza} = peso de la muestra tras el calcinado (g) y $W_{muestra}$ = peso de la muestra.

Grasa cruda: AOAC 1970.920.39C, se pesó 1 gramo de muestra seca, se colocó en un dedal de celulosa con porosidad que permite el paso rápido del éter por la muestra. Se pesó el matraz (m1) y se colocó el diluyente (éter) el cual realizó ciclos de evaporación durante 3 horas para extraer la grasa, pasado las 3 horas se recuperó el éter y se colocó el matraz en la estufa a 100°C por 30 minutos para evaporar el éter que queda en el envase, se enfrió y pesó (m2), para ejecutar los cálculos haciendo uso de la Ecuación (8).

$$\% \text{ Grasa cruda} = \frac{m_2 - m_1}{M} * 100 \quad (8)$$

Donde: m_1 = masa en gramos del matraz vacío, m_2 = masa en gramos del matraz con grasa tras el secado y M = peso de la muestra en gramos.

Cenizas totales: Según la AOAC 1970.923.03 se pesó un crisol (m_1) y se colocó la muestra de polvo en cúrcuma hasta llegar a un peso de 3 g (m_2), se llevó el crisol con la muestra a la mufla por 5 horas a 550°C hasta que la muestra se calcinó dando como resultado una ceniza de color gris claro, se dejó enfriar al ambiente y se colocó en una campana de desecación y se pesó el crisol con la ceniza (m_3). Para calcular el porcentaje de cenizas totales se hizo uso de la Ecuación (9) en base al residuo calcinado.

$$\% \text{ Cenizas totales} = \left(\frac{m_3 - m_1}{m_2} \right) * 100\% \quad (9)$$

Donde: m_1 = masa del crisol vacía (g), m_2 = masa de la muestra (g) y m_3 = masa del crisol con la ceniza (g).

Carbohidratos: se obtuvo por diferencia de la Ecuación (10), restando del 100% la suma de los porcentajes de humedad (H), ceniza (C), grasa (G), proteínas (P), y fibra (F), (Pantoja et al., 2023).

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - (H + C + G + P + F) \quad (10)$$

Análisis estadístico: El resultado de composición química proximal en el polvo de cúrcuma se analizó mediante un diseño completo al azar (DCA) y al presentar diferencia estadística significativa se le aplicó la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) haciendo uso del programa estadístico INFOSTAT versión libre.

3.4.8. Determinar el contenido de macro y microelementos en el polvo de cúrcuma

Proceso de digestión por vía húmeda: Según la metodología de Arévalo et al. (2017) con algunas modificaciones, se pesó 0,5 g de muestra de cada tratamiento en un matraz Erlenmeyer, se agregó 10 mL de la solución de ácido nítrico con ácido perclórico en relación de 4:1 v/v, estas se colocaron en la placa calefactora a 200°C durante 2 horas con 40 minutos aproximadamente (hasta que la solución se torne translúcida) se dejó enfriar a temperatura ambiente, se filtró las muestras con papel filtro de pasada rápida (N°42 de 150 mm \varnothing), se enrazó a 25 mL con agua desionizada y se dejó en refrigeración hasta su posterior análisis.

Preparación de la curva estándar: Se preparó estándares de los macro y microelementos a partir de una concentración de 1000 ppm para cada elemento. Las concentraciones de los macroelementos fueron: calcio 1, 2, 3, 5 ppm; magnesio 0,2; 0,4; 0,6 ppm; potasio 1, 2, 3, 6 ppm; sodio 1, 2, 3 ppm. Para los microelementos: cobre 1, 4, 6, 8 ppm; hierro 1, 5, 10 ppm; zinc 1, 2, 5 ppm; manganeso 1, 2, 4, 8, 13 ppm. El análisis fue realizado con un espectrofotómetro de absorción atómica con lámpara de cátodo hueco (cilindro de vidrio compuesto por un gas inerte de argón por dentro), para el análisis de calcio, magnesio, zinc, cobre y manganeso utilizó óxido nitroso, mientras que para potasio, sodio y hierro se usó aire; la longitud de onda para cada mineral, la ecuación y el coeficiente de determinación se presenta en la siguiente Tabla.

Tabla 2. Ecuaciones de la curva estándar de los macro y microelementos

Elemento	Símbolo	Concentración (ppm)	λ (nm)	Ecuación	R ²
Calcio	Ca	1, 2, 3, 5	422,7	$Y = 100,03X + 0,009$	0,9999
Magnesio	Mg	0,2; 0,4; 0,6	285,2	$Y = 99,979X + 0,005$	0,9976
Potasio	K	1, 2, 3, 6	766,5	$Y = 99,997X + 0,0245$	0,9899
Sodio	Na	1, 2, 3	589	$Y = 99,74X + 0,0197$	0,9986
Cobre	Cu	1, 4, 6, 8	327,4	$Y = 87,769X + 0,0263$	0,9995
Hierro	Fe	1, 5, 10	372	$Y = 99,476X + 0,0194$	0,9999
Zinc	Zn	1, 2, 5	213,9	$Y = 99,363X + 0,0241$	0,9979
Manganeso	Mn	1, 2, 4, 8, 13	403,1	$Y = 87,134X + 0,0117$	0,9994

Tratamiento de muestras: Se realizó una dilución de 1:10 (calcio,) 1:100 (magnesio y potasio), mientras que para los otros elementos como el Na, Cu, Fe, Zn y Mn se realizó la lectura directa del extracto (25 mL), los resultados de los macro y micro elementos fue en mg/100g (Anexo-V).

Análisis estadístico: Los resultados de los macro (Ca, Mg, K, Na) y microelementos (Cu, He, Zn, Mn) en las muestras de polvo de cúrcuma, se analizaron haciendo uso de un diseño en bloques al azar de 3x2, siendo el primer factor la parte del rizoma (pulpa, todo y piel), segundo factor (pelado y cocción). Los resultados fueron procesados a través de ANOVA 10 vías y la prueba posteriori de Tukey, a un nivel de significancia ($p \leq 0,05$). Se describió la variación principal de los datos con el apoyo del programa R versión 4.1.3.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cuantificación de carotenoides totales en el polvo de cúrcuma

En la Tabla 3 y Figura 9 se evidencia que los tratamientos sometidos a cocción tuvieron una disminución en la concentración de carotenoides totales al compararlos con los que no tuvieron cocción, los mismos que mostraron diferencia estadística altamente significativa (Anexo-VI), obteniendo (A2) 0,03 g/100g; (B2) 0,026 g/100g y (C2) 0,03 g/100g menores a A1, B1 y C1. En los tres casos se observa que el contenido de carotenoides disminuyó, esto posiblemente por la aplicación de la cocción, que aceleró la degradación de carotenoides, Mbabazi et al., (2020) indican que el impacto negativo en los tratamientos sometidos a cocción posiblemente se deba a varios factores, como la concentración original de carotenoides en el alimento, el tiempo de exposición a la luz, y sobre todo, la temperatura de procesamiento. Korese y Nyame (2022) determinaron que el tratamiento térmico aplicado en cúrcuma también disminuyó la concentración de carotenoides, obteniendo como valor mínimo 11,79 $\mu\text{g}/100\text{g}$. La diferencia que existe entre los datos obtenidos y el resultado de dicha investigación puede verse influenciado por el método de extracción, al respecto el mismo autor, aplicó una extracción por partes haciendo uso de aluminio tricálcico y acetona para luego utilizar el éter de petróleo, en cambio en la investigación la extracción se realizó solo con éter de petróleo; así mismo la diferencia entre resultados podría verse influenciada por el lugar de obtención de la materia prima, debido a que la concentración inicial de cada muestra varía de acuerdo con la zona de siembra. Cabe recalcar que la temperatura es el punto clave que disminuye el contenido de carotenoides, por ello Meléndez et al., (2004) citan que los carotenoides son estables en su entorno natural, pero cuando se calientan se vuelven mucho más susceptibles a la degradación, lo cual conlleva a la pérdida de valor nutricional de los alimentos y provoca decoloración, así como una disminución en sus cualidades organolépticas, sin embargo, no todos los métodos de cocción afectan a los carotenoides de la misma manera; la pérdida de estos aumenta en el siguiente orden: cocinado con microondas < cocinado al vapor < hervido < salteado. Esto significa que el hervido es uno de los métodos que presenta mayor degradación de carotenoides frente a los otros métodos. Por lo tanto, al emplear la cocción en la investigación, se evalúa el impacto perjudicial que este tratamiento tiene en los carotenoides de los alimentos.

En cuanto a la mayor concentración de carotenoides totales en cúrcuma se encuentra en la pulpa sin cocción (A1) $0,042 \pm 0,0003$ g/100g y la menor en el tratamiento sin pelar con cocción (B2) $0,026 \pm 0,0003$ g/100g, el dato de la mayor concentración supera a los

demás tratamientos debido a que no fue sometido a cocción, evitando generar pérdida o degradación del carotenoide, a comparación del menor que es el que fue sometido a cocción, esta pérdida según Camacho et al. (2004) se debe a que la inestabilidad química de los carotenoides está intrínsecamente ligada a su estructura insaturada, convirtiendo a los carotenoides en compuestos altamente insaturados, característica que los hace propensos a la isomeración y oxidación durante las fases de procesamiento de alimentos, específicamente bajo las condiciones térmicas que se usen. Además Korese y Nyame (2022) también mencionan que la degradación de carotenoides (β -caroteno) se debe a la degradación térmica efectuada por un blanqueamiento y secado.

Tabla 3. Cuantificación de carotenoides en polvo de cúrcuma.

Muestras	Tratamientos	Carotenoides (g/100g _{ms})
Pulpa sin cocción	A1	0,042 ± 0,0003 ^a
Pulpa con cocción	A2	0,030 ± 0,0003 ^c
Todo sin cocción	B1	0,029 ± 0,0003 ^c
Todo con cocción	B2	0,026 ± 0,0003 ^d
Piel sin cocción	C1	0,033 ± 0,0003 ^b
Piel con cocción	C2	0,030 ± 0,0003 ^c

Los datos representan (promedio ± error estándar) del experimento (n=3) valores de una misma columna con superíndices diferentes son significativos ($p \leq 0,05$).

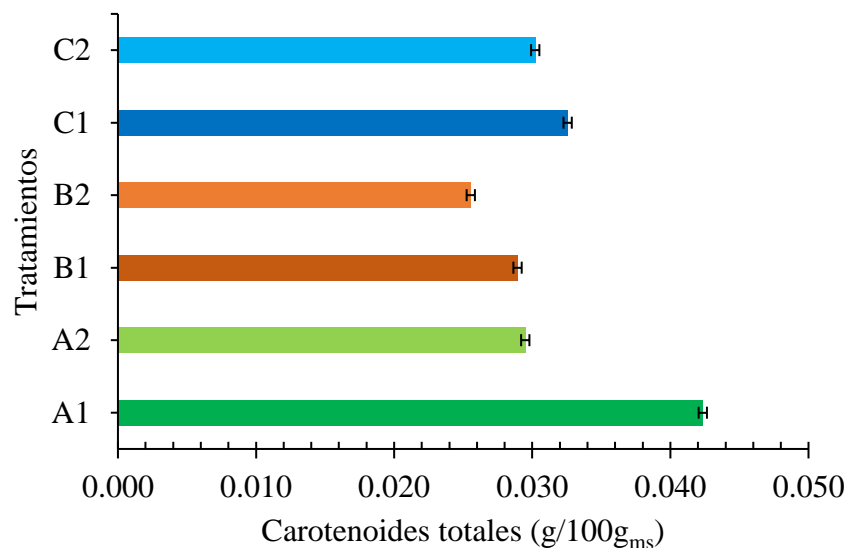


Figura 9. Representación del contenido de carotenoides en polvo de cúrcuma

Según Rodríguez y Kimura (2004) indican que la mayoría de las hortalizas y frutas contienen niveles altos de carotenoides en la parte exterior del alimento (cáscara o piel) que en la pulpa, de manera que la pérdida de carotenoides no solo se debe a la aplicación del tratamiento térmico sino que también es causado por la eliminación física, como el pelado. En el caso de la cúrcuma se cuantificó que la piel sin cocción (C1) obtuvo $0,033 \pm 0,0003$ g/100g, dato que está próximo al dato de pulpa sin cocción (A1) $0,042 \pm 0,0003$ g/100g, con lo cual se da a entender que la piel de la cúrcuma se debe utilizar de forma separada, debido a que en el tratamiento sin pelar y sin cocción (B1) se obtuvo una concentración menor que en C1. Por ende, el pelado resalta la importancia de considerar las estrategias de procesamiento que minimizan la pérdida de nutrientes valiosos durante la preparación de alimentos, de tal forma que la decisión de mantener o eliminar la cáscara puede tener un impacto significativo en la retención de carotenoides y otros compuestos beneficiosos para la salud.

Por lo tanto, la aplicación del tratamiento térmico crea un interés significativo en la generación de conocimientos sobre condiciones de operación que minimicen la degradación de los carotenoides, como por ejemplo la identificación y aplicación de métodos de procesamiento menos destructivos, como lo indica Meléndez et al., (2004) quienes determinaron que el cocinado por microondas genera menor pérdida de carotenoides que el hervido. A parte de conocer el método, se debe comprender las variables de procesamiento, como la temperatura y el tiempo, debido a que estas afectan la estabilidad de los carotenoides.

4.2. Propiedades bioactivas en el polvo de cúrcuma

4.2.1. Cuantificación fenoles totales

En la Tabla 4 y Figura 10 se muestra que presentaron diferencia significativa ($p \leq 0,05$) (Anexo-VII). Las muestras que fueron sometidos a cocción, tuvieron una mayor concentración de fenoles totales, frente a los tratamientos sin cocción, obteniendo (A2) $6,75 \pm 0,03$ g EAG/100g, (B2) $5,543 \pm 0,062$ g EAG/100g y (C2) $5,149 \pm 0,061$ g EAG/100g; al respecto Jiménez (2020) indica que el tratamiento de cocción influye en el incremento de polifenoles, posiblemente porque puede causar una modificación en cuanto a la composición fitoquímica del alimento, generando un aumento o manteniendo la concentración de estos; por ello Palermo et al. (2014) proponen que la aplicación del tratamiento térmico puede generar grupos fenólicos libres en el alimento, producto de la hidrólisis de los glucósidos de flavonol que estén presentes en el proceso o también por la inactivación de enzimas oxidativas como es la polifenol oxidasa. Además, Schneider et al. (2015) indican que la extracción de fenoles se

incrementa al aplicar la cocción debido a que en la curcumina la degradación de esta se da por la oxidación mediada por peróxidos, radicales libres e iones oxígenos y dicha degradación va de la mano con la energía de disociación de los grupos funcionales que tiene la curcumina, degradando primero al grupo OH fenólico debido a que tiene la energía de disociación más baja frente al H central y H enólico, por lo tanto al producirse la degradación se libera el compuesto fenol y queda expuesto al usar el extractante.

También se muestra que la mayor concentración de fenoles totales en la cúrcuma se encuentra en la pulpa con cocción (A2) $6,750 \pm 0,030$ g EAG/100g y la menor en la piel sin cocción (C1) $4,709 \pm 0,039$ g EAG/100g. Estos al compararlos con los resultados obtenidos por diversos autores se evidencia similitud entre ellos; como es el caso de Array et al. (2018) quienes obtuvieron 40,80 mg GAE/g al realizar una extracción de fenoles totales en cúrcuma. Tanvir et al. (2017) obtuvieron una concentración de 6,15 g EAG/100g a 16,07 g EAG/100g al evaluar la extracción de fenoles en dos variedades de cúrcuma (mura y chora) y dos distritos (Khulna y Chittagong - Bangladesh). Los valores obtenidos en este caso se evidencian debido a que el compuesto fenólico característico de la cúrcuma es el grupo de los curcuminoides, siendo la curcumina uno de los más representativos, el cual es poco soluble en agua pero soluble en etanol (Saiz, 2014). Además, el aplicar un tratamiento térmico a los rizomas de cúrcuma antes de preparar la muestra en polvo, también generó un efecto positivo en la extracción de la curcumina, debido a que está relacionada con la tasa de transferencia de masa al interior del sistema (Moya y López 2021).

Tabla 4. Cuantificación de polifenoles totales en polvo de cúrcuma.

Muestras	Tratamientos	Fenoles totales (g EAG/100g _{ms})
Pulpa sin cocción	A1	$6,205 \pm 0,035^b$
Pulpa con cocción	A2	$6,750 \pm 0,030^a$
Todo y sin cocción	B1	$5,311 \pm 0,048^d$
Todo y con cocción	B2	$5,543 \pm 0,062^c$
Piel sin cocción	C1	$4,709 \pm 0,039^e$
Piel con cocción	C2	$5,149 \pm 0,061^d$

Los datos representan (promedio \pm error estándar) del experimento (n=3) valores de una misma columna con superíndices diferentes son significativos ($p \leq 0,05$).

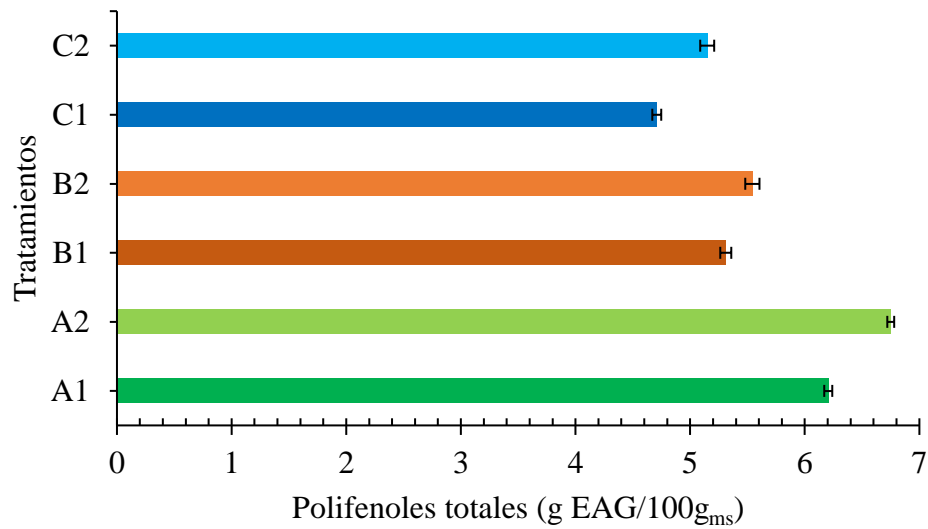


Figura 10. Representación del contenido de fenoles totales

Los resultados obtenidos para el tratamiento sin pelar y sin cocción fue menor al tratamiento con cocción (B1) $5,311 \pm 0,048$ g EAG/100g < (B2) $5,543 \pm 0,062$ g EAG/100g, esto posiblemente debido a que B2 fue sometido a cocción con todo y piel generando la degradación de la curcumina y dejando libre el grupo fenol de los curcuminoides que contiene la piel, lo cual suma al contenido que presenta la pulpa (Dutta et al., 2023). Al utilizar la piel y someterlo a cocción (C2) se observa que la concentración de fenoles es mayor en este, que en el tratamiento sin cocción (C1), obteniendo $5,149 \pm 0,061$ g EAG/100g y $4,709 \pm 0,039$ g EAG/100g), respectivamente. Con los resultados referente a la piel de cúrcuma con o sin tratamiento térmico, éste se puede utilizar como ingrediente adicional en galletas o cualquier otro producto alimentario. Shalaby et al. (2023) evaluaron el contenido de fenoles en la piel de jengibre, obteniendo mayor concentración al utilizar agua caliente $0,333 \pm 0,04$ g EAG/100 g comparado al $0,032 \pm 0,01$ g/100g del extracto con agua fría, de manera que el tratamiento térmico influyó en la mejora para la obtención de fenoles, por ello, la piel de cúrcuma podría utilizarse, de modo que se tenga un manejo sustentable de los desechos, al ser utilizados en la alimentación humana, animal o en usos farmacéuticos.

Con respecto a los resultados, al compararlos con los de otros autores se tuvo una variación en la concentración de fenoles, esto probablemente se deba lo indicado por Hirun et al. (2014) quienes citan que la cantidad de fenoles en la cúrcuma varía de acuerdo a la zona de siembra, época de cosecha y variedad; Tefera y Ezez (2021) mencionan que se obtiene mayor contenido de fenoles en solventes polares comparados con solventes de menor polaridad.

4.2.2. Determinación de la capacidad antioxidante

4.2.2.1. Radical DPPH (1,1-Diphenyl-2-picrilhidrazil)

La capacidad antioxidante que brindan los alimentos es de gran importancia, por ello se ha incrementado la demanda de alimentos saludables como medida preventiva contra enfermedades, de manera que los avances en este ámbito se centran en la incorporación de ingredientes que promueven la salud. La Tabla 5, Figura 11 y Anexo-VIII muestran los resultados de la capacidad antioxidante para inhibir el DPPH^{o+}, donde los tratamientos con cocción (A2, B2 y C2) fueron los que destacaron frente a los tratamientos sin cocción (A1, B1 y C1), al respecto Barbosa y Minguillan (2021) indica que la cocción ofrece la ventaja de disminuir el tiempo de secado y sobre todo mejora la extracción de los compuestos curcuminoides. En una investigación desarrollada por Kutti y Lingamallu (2012) demostraron que los aceites volátiles (α -Turmerone, β -Turmerone) obtenidos de la cúrcuma sometida a cocción presentaron una mayor capacidad antioxidante frente a la cúrcuma sin cocción. Por ello, Wahanik et al. (2018) evaluaron el uso de la harina de cúrcuma como un ingrediente para la elaboración de pastas, demostrando que la pasta elaborada con cúrcuma y sometida a cocción posee la mayor capacidad antioxidante 6,5 g ET/kg en comparación con la pasta control (pasta sin harina de cúrcuma) que tuvo un valor de 0,70 g ET/kg.

El pelado genera influencia sobre la capacidad antioxidante, debido a que el tratamiento que está sin pelar con cocción (B2) tiene $0,146 \pm 0,001$ mmol ET/100g_{ms}, mientras que el tratamiento pulpa con cocción (A2) tiene $0,189 \pm 0,004$ mmol ET/100g_{ms}, indicando un incremento del 29,4 % al ser pelado y sometido a cocción; cabe resaltar que el pelado influye en el incremento de la capacidad antioxidante, según Barbosa y Minguillan (2021) los aceites volátiles de la cúrcuma están ubicados en las células y conductos sebáceos que se encuentran en la región meristemática del rizoma, y al ser pelados esta zona queda más expuesta a la cocción.

De todos los tratamientos, el A2 exhibió la mayor capacidad antioxidante, registrando $0,189 \pm 0,004$ mmol ET/100g_{ms}, este resultado se atribuye a la influencia del proceso de pelado y cocción. En contraste, el tratamiento piel sin cocción (C1) mostró la capacidad antioxidante más baja ($0,100 \pm 0,001$ mmol ET/100g_{ms}), lo cual se sustenta con lo mencionado por Fares et al. (2010) quienes mencionan que la piel, presenta proporciones mínimas de aceites volátiles, los cuales son los responsables de dar la capacidad antioxidante a la cúrcuma. Por ende, las operaciones de pelado y cocción en la cúrcuma ejercen una considerable influencia en la determinación de la inhibición del radical libre DPPH. Estas

operaciones no solo mejoran la capacidad antioxidante del alimento, sino que también permiten la incorporación del rizoma de cúrcuma como ingrediente en otros alimentos sin comprometer sus propiedades tecnológicas (Wahanik et al., 2018).

Tabla 5. Evaluación de la capacidad de inhibición del radical DPPH

Muestras	Tratamientos	DPPH ^{o+} (mmol ET/100g _{ms})
Pulpa sin cocción	A1	0,166 ± 0,002 ^b
Pulpa con cocción	A2	0,189 ± 0,004 ^a
Todo sin cocción	B1	0,131 ± 0,002 ^d
Todo con cocción	B2	0,146 ± 0,001 ^c
Piel sin cocción	C1	0,100 ± 0,001 ^f
Piel con cocción	C2	0,111 ± 0,002 ^e

Los datos representan (promedio ± error estándar) del experimento (n=3) valores de una misma columna con superíndices diferentes son significativos ($p \leq 0,05$).

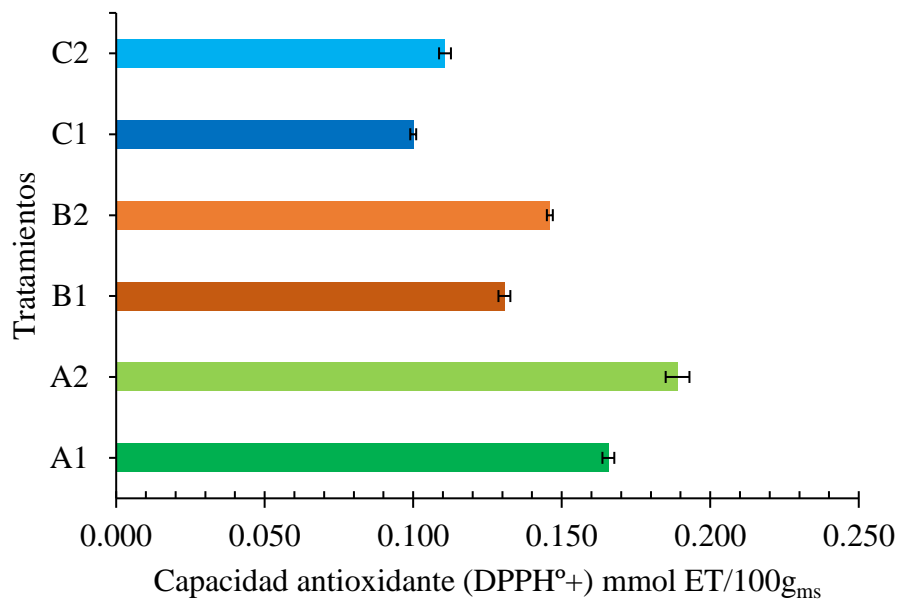


Figura 11. Representación del contenido de la capacidad antioxidante del DPPH^{o+}

4.2.2.2. Radical ABTS (2,2'-azino-bis (3-etrylbenzothiazoline-6-sulfonic acid))

El método de eliminación del radical ABTS se basa en la reducción del radical catión ABTS preformado mediante la adición de antioxidantes. La medida de la decoloración del cromóforo ABTS^{o+} se mide espectrofotométricamente a 734 nm y proporciona una medida de la capacidad antioxidante de la muestra (Kutti y Lingamallu, 2012). El radical ABTS puede

solubilizarse en sustancias a base de agua, aceite o solventes orgánicos, éste radical no se ve afectado por la fuerza iónica, lo que significa que su comportamiento no cambia en función de la concentración de iones en la solución, esta característica le confiere flexibilidad y lo hace adecuado para medir la capacidad antioxidante de sustancias en una variedad de condiciones como compuestos hidrofílicos como lipofílicos (Karadag et al., 2009). En la Tabla 6 y Figura 12 se aprecia los resultados en la cual los tratamientos muestran una diferencia estadística significativa (Anexo-IX), evaluando la comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). En la investigación los resultados que resaltan son los que fueron sometidos a cocción (A2, B2 y C2) con valores de $0,356 \pm 0,004$; $0,223 \pm 0,003$ y $0,167 \pm 0,005$ mmol ET/100g_{ms} respectivamente. Esta capacidad antioxidante superior de los tratamientos va de la mano con el resultado obtenido en la concentración total de fenoles totales y según Array et al. (2018) una alta capacidad antioxidante se le atribuye a un alta concentración de antioxidantes fenólicos, debido a que estos tienen la capacidad de donar sus electrones para la estabilización de los radicales libres generados por la acción oxidativa. Sumado a esto, Barbosa y Minguillan (2021) señalan que la elevada capacidad antioxidante de la cúrcuma se debe a los principales compuestos fenólicos como la curcumina y demetoxicurcumina.

Tabla 6. Evaluación de la capacidad de inhibición del radical ABTS

Muestras	Tratamientos	ABTS ^{o+} (mmol ET/100g _{ms})
Pulpa sin cocción	A1	$0,279 \pm 0,004^b$
Pulpa con cocción	A2	$0,356 \pm 0,004^a$
Todo sin cocción	B1	$0,188 \pm 0,006^d$
Todo con cocción	B2	$0,223 \pm 0,003^c$
Piel sin cocción	C1	$0,118 \pm 0,003^f$
Piel con cocción	C2	$0,167 \pm 0,005^e$

Los datos representan (promedio \pm error estándar) del experimento (n=3) valores de una misma columna con superíndices diferentes son significativos ($p \leq 0,05$).

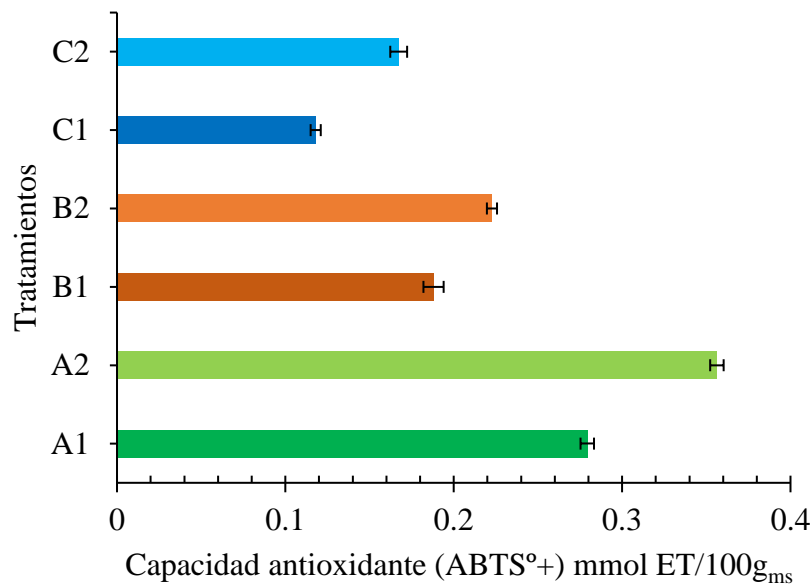


Figura 12. Representación del contenido de la capacidad antioxidante del ABTS^{°+}

La cocción generó influencia en todos los tratamientos, mostrando mejoras del 27,5 % (A2), 18,6% (B2) y 41,5% (C2). Además de la cocción, se puede decir que el pelado también influyó, debido a que en B2 se obtuvo $0,223 \pm 0,003$ mmol ET/100g_{ms}, mejorando en un 59,6%. Según Fares et al. (2010) es conveniente realizar el proceso de pelado y cocción a la cúrcuma para poder obtener mayor capacidad de inhibición del radical libre. Aparte del pelado y cocción, el secado posiblemente también influyó en los resultados de la capacidad antioxidante, ante esto Llano et al. (2022) explicaron que el principal compuesto activo (curcumina) experimenta degradación y transformación durante el proceso de secado, por lo tanto, la presencia de estos compuestos contribuye al aumento final de la capacidad antioxidante del producto. Es importante resaltar que la transformación puede afectar de manera positiva la capacidad antioxidante generando nuevos componentes con capacidad para neutralizar radicales libres y prevenir el daño oxidativo.

Los resultados obtenidos con el radical DPPH y ABTS, mostraron diferencia, prevaleciendo que el ensayo ABTS permite obtener mejores resultados para determinar la capacidad antioxidante. De este mismo modo sucedió en la investigación desarrollada por Wahanik et al. (2018) quienes obtuvieron $8,5 \pm 0,10$ g ET/kg, superando en 43,8% a la evaluación del radical DPPH; con esto se resalta que el ensayo ABTS tiene mayor afinidad hacia los compuestos lipofílicos como señala Cano et al. (2002) quienes mencionan que el ensayo ABTS es utilizado para determinar propiedades antioxidantes lipofílicas en medios orgánicos.

4.3. Evaluación del color en el polvo de cúrcuma

4.3.1. Luminosidad

El color es una de las características más comunes que se evalúa en los productos alimenticios secos, ya que influye significativamente en la elección, preferencia y valor de mercado por parte de los consumidores (Korese y Nyame, 2022). Esta característica se mide en el espacio tridimensional, donde la coordenada luminosidad (L^*) abarca un rango de medición de 0 (oscuro) a 100 (claro) (Korese et al., 2021). En la Tabla 7 y Figura 13 se aprecia los resultados de L^* en muestras de polvo de cúrcuma, según el análisis estadístico se aprecia diferencia significativa ($p \leq 0,05$) (Anexo-X). Las muestras de control (A1, B1 y C1) presentaron el valor más alto de L^* con $66,47 \pm 0,47$; $57,64 \pm 0,40$; $58,57 \pm 0,30$, respectivamente, mientras que las muestras sometidas a cocción (A2, B2 y C2) mostraron una disminución en los valores con $63,44 \pm 0,47$; $57,34 \pm 0,39$ y $56,29 \pm 0,08$, respectivamente. Estos resultados confirman que la aplicación de la cocción reduce la luminosidad de las muestras, respaldando hallazgos anteriores de Llano et al. (2022), quienes señalaron que las altas temperaturas degradan el pigmento, específicamente la curcumina, descomponiéndose en vainillina y ácido ferúlico, lo que afecta el color de las muestras. Esta investigación coincide con observaciones similares reportadas por Marzuki et al. (2020) sobre la degradación del pigmento en camote de pulpa morada sometido a tratamientos de blanqueamiento. Además, Komonsing et al. (2021) indican que la disminución del contenido del pigmento (curcumina) también se ve afectada por la fotodegradación. Por lo tanto, se podría afirmar que la exposición a la luz durante el secado provocó la degradación de los curcuminoides, afectando la luminosidad en la prueba de color. El rango de luminosidad encontrado en las muestras de cúrcuma osciló entre 56,29 y 66,49, Lima et al. (2022) reportó un rango de luminosidad de 56,18 a 60,58 al trabajar con muestras de cúrcuma pelada y diversas temperaturas de secado (45, 55, 65 y 75°C), esto evidencia que los resultados obtenidos se sitúan dentro del rango citado por el autor. Por otro lado, Ray et al. (2022) mencionan que en el caso de productos alimenticios secos es preferible valores de luminosidad (L^*) más altos, por ende, A1 sería la mejor muestra según la evaluación de color, debido a que el color es la característica que induce al consumo del producto.

4.3.2. Cromo a^* y b^*

Las muestras de polvo de cúrcuma mostraron diferencia significativa (Anexo-XI y Anexo-XII) en el croma a^* (coordenada rojo-verde) y b^* (coordenada amarillo-azul) como se muestra en la Tabla 7 y Figura 13. Los resultados indican que la cocción afectó los resultados del croma a^* en las muestras A2 ($26,15 \pm 0,49$) y B2 ($16,15 \pm 0,54$),

incrementando sus valores en un 45,12% y 31,41%, respectivamente, en comparación con las muestras de control (A1 y B1) que obtuvieron valores de $18,02 \pm 0,27$ y $12,29 \pm 0,22$. En cambio, en el caso de C2, el valor disminuyó en un 21,66% con respecto a la muestra de control (C1) de $16,11 \pm 0,34$. Por otro lado, C2 experimentó una disminución en su valor debido a que la muestra consistía únicamente por piel, siendo el croma a* positivos, reflejando que pertenecen al croma rojo. En este contexto, Lima et al. (2022) señalan que la cromaticidad refleja el comportamiento de la saturación del color en la muestra, donde valores cercanos a cero indican colores más grisáceos, mientras que valores cercanos a 60 expresan colores más intensos y vibrantes.

Tabla 7. Parámetros de color en muestras de polvo de cúrcuma.

Muestras	Tratamientos	Parámetros		
		L	A	b
Pulpa sin cocción	A1	$66,47 \pm 0,47^a$	$18,02 \pm 0,27^a$	$68,60 \pm 1,30^a$
Pulpa con cocción	A2	$63,44 \pm 0,47^b$	$26,15 \pm 0,49^a$	$61,06 \pm 1,00^b$
Todo sin cocción	B1	$57,64 \pm 0,40^a$	$12,29 \pm 0,22^b$	$50,86 \pm 0,44^a$
Todo con cocción	B2	$57,34 \pm 0,39^a$	$16,15 \pm 0,54^b$	$51,57 \pm 0,86^a$
Piel sin cocción	C1	$58,57 \pm 0,30^a$	$16,11 \pm 0,34^b$	$52,04 \pm 0,57^a$
Piel con cocción	C2	$56,29 \pm 0,08^b$	$12,62 \pm 0,14^a$	$48,93 \pm 0,17^b$

Los datos representan (promedio \pm error estándar) del experimento (n=10) valores de una misma columna con superíndices diferentes son significativos ($p \leq 0,05$).

El croma b* también presentó diferencia significativa (Tabla 7) indicando variación entre tratamientos, de tal forma que la cocción afectó los valores de A1 ($68,60 \pm 1,30$) y C1 ($52,04 \pm 0,57$) en un 10 y 5,97% reduciendo su valor a $61,06 \pm 1,00$ y $48,93 \pm 0,17$. En cambio en B2 la cocción incrementó su valor en un 1,40%. A partir de estos datos se puede interpretar que A2 y C2 pierden la tonalidad amarilla de la muestra, pero se siguen manteniendo dentro del rango amarillo debido a que los valores del croma b* son positivos al igual que el dato de B2 ($51,57 \pm 0,86$). Por ende las muestras sin cocción presentan el mejor color, específicamente la muestra A1, al respecto Martins et al. (2013) indica que la tonalidad amarilla en la cúrcuma se debe a que los curcuminoides son los responsables de dar el color amarillo característico al rizoma de cúrcuma. En la Figura 13 se nota claramente que los valores del croma b* fueron superiores al croma a*, lo cual significa que el color amarillo es el predominante en las muestras del polvo de cúrcuma.

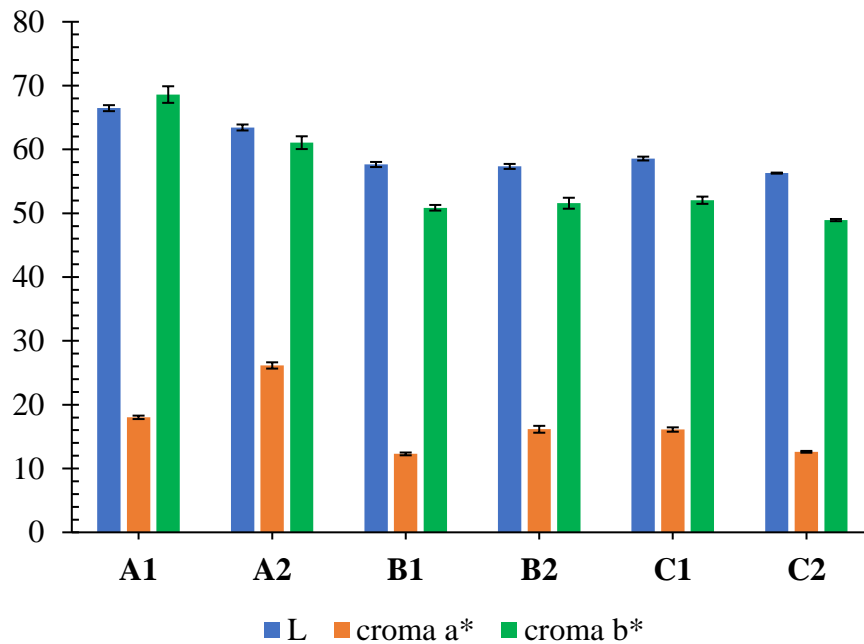


Figura 13. Representación de los parámetros de color (L^* , a^* , b^*) en polvo de cúrcuma.

4.4. Propiedades tecnológicas en el polvo de cúrcuma

4.4.1. Capacidad de retención de agua

La interacción del agua con muestras de harina desempeña un papel fundamental en la transformación de los alimentos, influenciando significativamente (Anexo-XIII) tanto en el sabor como la textura. La capacidad de retención de agua (CRA) emerge como un factor clave en la mayoría de los sistemas de procesamiento alimentario, ya que no solo mejora el rendimiento, sino que también confiere propiedades organolépticas que otorgan singularidad y aceptación por parte de los consumidores a los productos alimenticios (Dogoré et al., 2022). Los resultados obtenidos para CRA se muestran en la Tabla 8 y Figura 14, indicando que los tratamientos con cocción obtuvieron mayor retención de agua que los que fueron sin cocción. Por ello, la temperatura aplicada a los tratamientos A2, B2 y C2 presentaron un efecto positivo, haciendo que las muestras obtengan mayor volumen (hinchazón del gránulo) después del secado, posiblemente a causa de la liberación de los sitios activos hidrófilos, que se unen con el agua al momento de realizar la prueba CRA (Rivas et al. 2009). El propósito de determinar la CRA surgió a raíz de las afirmaciones de Sreerama et al. (2012), quienes destacaron que la inclusión de una harina en la formulación de alimentos siempre conlleva a una interacción con el agua. En este contexto, Hoba et al. (2018) subrayaron que las harinas con mayor capacidad de retención de agua son aquellas hidrofílicas, característica atribuida a

los polisacáridos y proteínas. Esta observación se alinea con la notable capacidad de retención de agua del polvo de cúrcuma, respaldada por las investigaciones de Tagodoe y Nip (2007) y Abulude (2004), estos autores llevaron a cabo análisis en harina de corno Taro cruda y precocida, así como en harina de arroz remojada y cocida, respectivamente, sus hallazgos indicaron que la aplicación del tratamiento de cocción también resultó en un aumento significativo de la CRA en sus respectivas muestras, tal como indican Moreno et al. (2017) quienes mencionan que el tratamiento térmico (precocción) da mayor capacidad de retención a las muestras aumentando su porcentaje. A las investigaciones mencionadas se suman Spinello et al. (2014), quienes realizaron una evaluación comparativa entre la harina de cúrcuma y la harina de yuca donde observaron que la primera exhibía valores significativamente superiores en la retención de agua en comparación con la segunda. Por otro lado, Kuttigounder et al. (2011) obtuvieron valores más elevados de absorción de agua para muestras de rizoma secas y cocidas en contraste con el almidón aislado. Los autores sugirieron que tanto el proceso térmico como el procedimiento de rallado y secado podrían haber modificado la estructura del almidón. Además, al analizar el contenido de amilosa en el almidón de cúrcuma, encontraron un valor del 48,4%, superior al del almidón de papa; afirmando que el alto contenido de amilosa resulta beneficioso para la fabricación de snacks extruidos y fritos, especialmente cuando se busca baja expansión, textura crujiente y reducción.

Tabla 8. Evaluación de la capacidad de retención de agua, solubilidad en agua y aceite.

Muestras	Tratamientos	CRA (%)	Solubilidad en agua (%)	Solubilidad en aceite (%)
Pulpa sin cocción	A1	81,27 ± 0,01 ^a	33,36 ± 0,03 ^d	126,04 ± 5,44 ^a
Pulpa con cocción	A2	86,31 ± 0,01 ^c	28,27 ± 0,03 ^e	162,10 ± 6,66 ^b
Todo sin cocción	B1	85,41 ± 0,01 ^d	22,81 ± 0,03 ^c	108,12 ± 5,44 ^a
Todo con cocción	B2	87,72 ± 0,01 ^b	19,52 ± 0,03 ^a	216,10 ± 5,44 ^c
Piel sin cocción	C1	90,83 ± 0,01 ^e	37,67 ± 0,03 ^f	261,38 ± 5,44 ^d
Piel con cocción	C2	91,90 ± 0,01 ^f	22,26 ± 0,03 ^b	270,18 ± 5,44 ^d

Los datos representan (promedio ± error estándar) del experimento (n=3) valores de una misma columna con superíndices diferentes son significativos ($p \leq 0,05$).

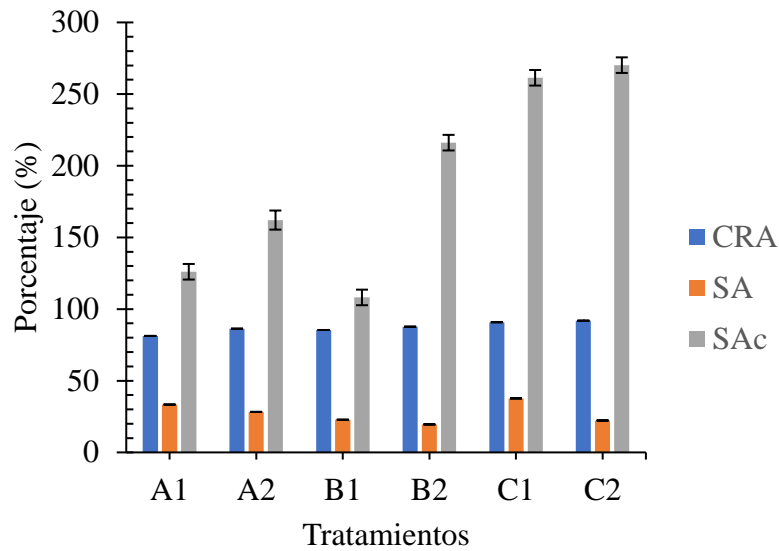


Figura 14. Representación en porcentaje de la capacidad de retención de agua (CRA), solubilidad en agua (SA) y Solubilidad en aceite (SAc).

Por otro lado, se observa detalladamente que la CRA del C2 (91,90 %), exhibió el mayor porcentaje, comparado a C1 (81,27 %). A pesar de estas variaciones, es importante destacar que todos los resultados se sitúan por encima del umbral del 50 %, clasificándolos a todos como poseedores de una buena CRA. El mayor CRA mostrado por el C2 podría atribuirse probablemente a la presencia de fibra, ya que este tratamiento contiene la piel, Balestra et al. (2019) en su investigación sobre la fibra de los vegetales muestra que cuando entra en contacto con el agua los poros de la fibra se saturan. Es importante señalar la variabilidad en los porcentajes de CRA en todos los tratamientos; esta variación puede atribuirse a factores como la porosidad de los componentes de la fibra, tamaño y longitud de las partículas (Kim y Paik, 2012). En general, la cúrcuma en polvo se comporta de manera distinta en comparación con las harinas u otros ingredientes comunes en la cocina en lo que respecta a la capacidad de retención de agua. No obstante, al incorporar cúrcuma a una receta o mezcla, puede ejercer influencia sobre la textura y consistencia del producto final. Por ello es fundamental señalar que, en términos de retención de agua, la cúrcuma no cumple la función de agente espesante comparado a las harinas (Abulude, 2004). Su impacto principal se encuentra más bien en el color y el sabor que aporta a los alimentos. En lugar de modificar la viscosidad o textura mediante la absorción de agua, la cúrcuma destaca por su capacidad para realzar el matiz amarillo característico y enriquecer el perfil de sabor de las preparaciones culinarias.

4.4.2. Solubilidad en agua

La prueba de solubilidad en agua (SA) mostró una diferencia significativa ($p \leq 0,05$) (Anexo-XIV) en las muestras de polvo de cúrcuma, como se evidencia en la Tabla 8 y Figura 14, este comportamiento posiblemente esté asociado a la aplicación de cocción a las muestras, lo que provoca una disminución del porcentaje de solubilidad en agua, afectando a las muestras A2, B2 y C2. Este fenómeno se correlaciona con los hallazgos de Lima et al. (2022), quienes concluyeron que la solubilidad de la harina de cúrcuma disminuye conforme aumenta la temperatura (12,45 a 10,05 g/g con coeficiente de variación de 8,61) por esta razón es posible establecer una conexión entre estos resultados y la cocción aplicada a las muestras. Por otro lado, Spinello et al. (2014) obtuvieron un porcentaje de solubilidad promedio de 21,42% para la harina de cúrcuma; dicho dato guarda una estrecha relación con los resultados obtenidos en la investigación (19,52% a 37,67%). Las muestras fueron tamizadas en malla Tyler N° 80 (Diámetro 177 mm), según Huamani-H et al. (2020) la variabilidad de SA en muestras de quinua podría atribuirse al tamaño inicial de las partículas de cada muestra al haber trabajado con malla N° 80 ASTM (tamaño de partícula de 177); en ambos casos se tiene el mismo tamaño de partícula, pero la diferencia podría atribuirse a la naturaleza de las muestras, siendo la quinua no soluble en agua, sin embargo la aplicación de cocción ayuda a que esta puede alcanzar una solubilidad promedio de 26,4% valor cercano al encontrado en el polvo de cúrcuma (27,32 %). Comparando la SA con la CRA se aprecia menor SA en todas las muestras, este fenómeno se ve respaldado por Nguyen et al. (2017), quienes señalan que la cúrcuma presenta una baja solubilidad acuosa, lo que se traduce en una escasa biodisponibilidad de curcuminoides en un extracto acuoso. La solubilidad en agua por lo general hace referencia a la degradación del almidón, sin embargo, otros constituyentes como los azúcares totales, grasas y proteínas de la muestra podrían afectar en el cambio de esta propiedad funcional, con esto se resalta que la cúrcuma contiene en su mayoría carbohidratos y proteínas en un porcentaje de 63,7 a 70% y 5,8 a 6,3%; respectivamente según lo indican González et al. (2015), Raghavendhar y Devanand (2019) y Dosoky y Setzer (2018).

4.4.3. Solubilidad en aceite

La prueba de solubilidad en aceite (SAc) emerge como una propiedad física fundamental en la evaluación de productos alimenticios, ya que los lípidos desempeñan un papel crucial en mejorar el sabor y la textura de los alimentos (Odoemelam, 2003). Los resultados presentados en la Tabla 8 y la Figura 14 revelan que la solubilidad en aceite muestra diferencia significativa (Anexo-XV) debido a que los valores son considerablemente más altos

en comparación con la solubilidad en agua, siendo valores triplicados o más en SAc. Los datos obtenidos en A2, B2 y C2 presentaron mayor porcentaje de SAc debido a la aplicación de la cocción frente a los que no tuvieron, esto se respalda con lo mencionado por Rivas et al. (2009) quienes indican que el tratamiento térmico provoca que las muestras obtengan mayor volumen, de tal forma que el aceite tenga mucha más solubilidad que el agua, así mismo Cano et al. (2002) manifiestan que la cúrcuma tiene mayor superficie de retención para los compuestos lipofílicos. El rango de SAc estuvo entre 108,12% a 270,18% al hacer uso de aceite comercial (Primor Premium), caso contrario sucedió con Appiah et al. (2011) logrando SAc entre 898% a 975% al utilizar aceite de palma crudo. Sin embargo el rango de datos obtenidos están significativamente por encima del 100%, lo cual indica que los polvos de cúrcuma estudiados poseen una destacada capacidad de absorción de aceite, lo que los convierte en excelentes componentes lipófilos, lo que brinda seguridad al polvo de cúrcuma para la incorporación en la preparación de alimentos como salchichas, sopas y pasteles, proporcionando color y sabor que enriquecen al producto final (Aremu et al., 2007).

La notable solubilidad en aceite probablemente se atribuya a la capacidad del aceite para unirse a las proteínas, evidenciando la habilidad de absorber y retener aceite. Esta característica tiene un impacto significativo en el comportamiento de los productos alimenticios, ya que la solubilidad emerge como un parámetro crucial para las harinas destinadas a la elaboración de alimentos cocidos y acuosos. En este sentido, la capacidad de las harinas para interactuar con el aceite las vuelve especialmente útiles en aplicaciones alimentarias donde se busca una absorción óptima del aceite. Según Dogoré et al. (2022) la capacidad de absorción de aceite no solo confiere a las harinas propiedades funcionales potenciales en alimentos, sino que también las hace idóneas para mejorar el sabor y la sensación en la boca durante la preparación de alimentos. Este hallazgo destaca la versatilidad de las harinas de cúrcuma en aplicaciones alimenticias, donde su capacidad para unirse con el aceite puede potenciar la calidad y la experiencia sensorial de los productos finales.

4.5. Determinación de la composición químico proximal del polvo de cúrcuma

En términos generales los resultados de la Tabla 9 se expresan de forma comparativa en la Figura 15 mostrando similitud, estos datos son similares a los obtenidos por Correa et al. (2020) quienes evaluaron la composición química de la harina de cúrcuma en 5 lugares con suelos convencionales y agroecológicos, donde no encontraron diferencia significativa, el contenido de humedad abarcó de 8,7% a 11,4% , ceniza 6,6% a 9,2%, grasa 0,7% a 5,4%, proteína 7,7% a 13,1%, fibra 4% a 14,5% y carbohidratos 69% a 73%, estos datos

son similares a los mostrados en la Tabla 9. Así mismo estos datos están relacionados con los datos de la Tabla 1, dando a entender que el tratamiento de cocción aplicado a la muestra (B2) Todo con cocción, no presentó diferencia significativa ante la muestra (B1) Todo sin cocción; Srinivasan et al. (2016) hacen referencia que el químico proximal de las plantas no varía según las condiciones de procesamiento, pero probablemente sí por la forma de cultivo.

Tabla 9. Composición químico proximal del polvo de cúrcuma.

Composición (%)	B1	B2
Humedad (H)	9,79 ± 0,44	10,29 ± 0,71
Ceniza (C)	4,60 ± 0,20	5,09 ± 0,25
Grasa (G)	5,07 ± 0,25	5,57 ± 0,48
Proteína (P)	8,04 ± 0,29	8,02 ± 0,35
Fibra (F)	4,41 ± 0,14	4,69 ± 0,28
Carbohidratos (Ch)	63,11 ± 1,93	67,21 ± 3,75

Los datos representan (promedio ± error estándar) del experimento (n=3)

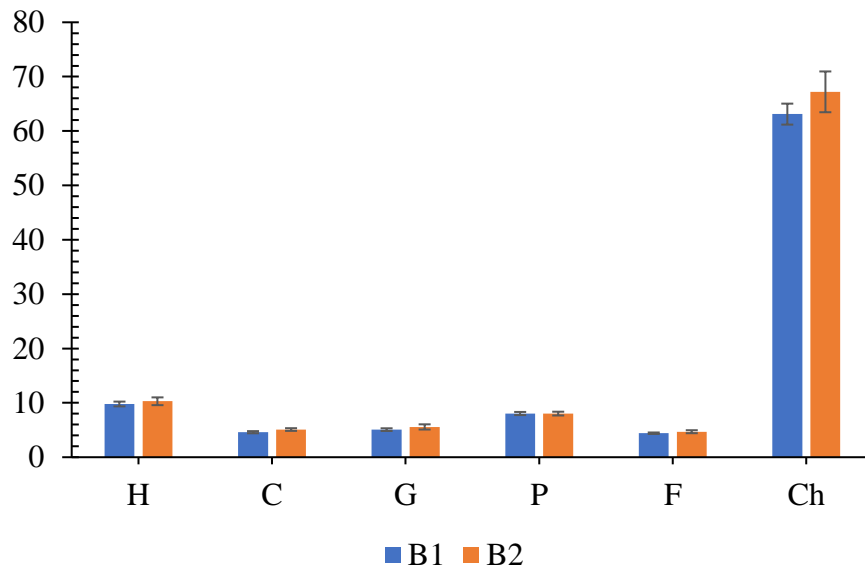


Figura 15. Composición químico proximal del polvo de cúrcuma

En la investigación el valor de los carbohidratos (63,11% y 67,21%), y proteína (8,04 y 8,02) predominan ante el resto, de la misma forma ocurre en la investigación de Ikpeama et al. (2014) con diferencias en cuanto al porcentaje de ceniza, grasa y fibra, pero dentro del mismo orden de magnitud, ante el resultado notorio de carbohidratos y proteína, Llano et al. (2019) mencionan que la harina de cúrcuma es una gran alternativa nutricional para

ser utilizada como alimento, además de su uso como colorante y saborizante. Rajkumari y Sanatombi (2017) evaluaron el valor nutricional de 16 especies de cúrcuma, concluyendo que su valor radica en el contenido de proteínas, carbohidratos y fibra dietética. Por lo tanto, los resultados de esta investigación coinciden con los resultados publicados incentivando a cultivar cúrcuma para ser usado como fuente de proteínas y carbohidratos en preparaciones culinarias.

4.6. Determinación de macro y microelementos en el polvo de cúrcuma

Dentro de la dieta a diario se consume diversos alimentos, los cuales engloban hojas, raíces, tallos y frutos, estos se encargan de brindar macro y microelementos los cuales son importantes en la función del organismo generando una contribución adecuada en la salud (Mihaylova et al., 2018). Por ello en la Tabla 10 se muestra la cantidad de macro y microelementos (mg) que contiene el polvo de cúrcuma en base a 100g de muestra. En cuanto al calcio no presentó diferencia significativa ($p > 0,05$) al aplicar el pelado y cocción, comparado con los otros elementos que si tuvieron diferencia significativa ($p < 0,05$). Según los resultados se puede evidenciar que el polvo de cúrcuma presentó el orden potasio > magnesio > calcio > sodio, en cuanto a los microelementos hierro > zinc > manganeso > cobre, al respecto Lima et al. (2022) mencionan que la cúrcuma en polvo tratado a temperaturas de 45, 55, 65 y 75°C, obtuvieron el mismo orden en cuanto a macroelementos y para los microelementos predominó el hierro, continuado por el zinc, cobre y manganeso, esto probablemente se debe a factores diversos como el origen de la planta, clima, tipo de suelo donde se sembró, momento de cosecha (inicio o final del ciclo) o fertilización de la planta (Scartezzini y Speroni, 2000).

4.5.1. Macroelementos

El **calcio** mostró diferencia significativa ($p \leq 0,05$) en las partes del rizoma (Figura 16), indicando mayor contenido en la piel (218,2 mg/100g) y menor en la pulpa (130,8 mg/100g) con esto se estima que es favorable hacer uso de la cáscara para el consumo, según la United State Department of Agriculture (2018) en cúrcuma el contenido de Ca en base a 100 g de muestra es 168 mg, valor que está dentro de los resultados obtenidos. Según la Autoridad Europea de la Seguridad Alimentaria (EFSA) (2022) la ingesta diaria recomendada de calcio es de 950 mg, comparando al resultado obtenido el máximo fue 226,8 mg al hacer un consumo de 100g de cúrcuma, pero como la ingesta por día es solo 1 gramo máximo, entonces no llega cubrir el requerimiento con este alimento, porque es usado como condimento (culinario) por las propiedades de sabor y color que presenta. Por otro lado, se nota que la aplicación de cocción no presentó influencia sobre el contenido de calcio en las partes del rizoma.

Tabla 10. Determinación de macro y microelementos en el polvo de cúrcuma en base a 100g.

Muestras	Macroelementos (mg/100g)				Microelementos (mg/100g)			
	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Cobre	Hierro	Zinc	Manganeso
Pulpa sin cocción (A1)	130,8 ± 6,6 ^{C,a}	130,2 ± 6,8 ^{B,a}	2194,7 ± 91 ^{A,a}	15,57 ± 0,86 ^{B,a}	0,452 ± 0,02 ^{C,a}	4,83 ± 0,29 ^{C,b}	1,59 ± 0,1 ^{C,b}	0,33 ± 0,03 ^{C,b}
Pulpa con cocción (A2)	131,5 ± 8,4 ^{C,a}	121,3 ± 6,2 ^{C,a}	1641,8 ± 97,2 ^{B,a}	12,11 ± 0,34 ^{B,b}	0,290 ± 0,01 ^{B,b}	2,65 ± 0,10 ^{B,a}	1,24 ± 0,1 ^{B,a}	0,312 ± 0,01 ^{B,a}
Todo sin cocción (B1)	172,2 ± 9,9 ^{B,a}	201,8 ± 13,7 ^{A,a}	2292,3 ± 83 ^{B,a}	16,45 ± 0,67 ^{B,a}	0,506 ± 0,01 ^{B,a}	6,73 ± 0,39 ^{B,a}	2,02 ± 0,1 ^{B,a}	0,563 ± 0,03 ^{B,a}
Todo con cocción (B2)	172,9 ± 3,4 ^{B,a}	173,3 ± 6,2 ^{B,b}	2202 ± 69,2 ^{C,b}	12,68 ± 0,82 ^{B,b}	0,426 ± 0,02 ^{A,b}	6,81 ± 0,25 ^{C,b}	2,07 ± 0,1 ^{C,b}	0,557 ± 0,04 ^{C,b}
Piel sin cocción (C1)	218,2 ± 5,1 ^{A,a}	229,3 ± 12,1 ^{A,b}	2360,2 ± 102 ^{A,b}	21,12 ± 0,88 ^{A,b}	0,738 ± 0,04 ^{A,a}	8,13 ± 0,55 ^{A,b}	3,01 ± 0,1 ^{A,a}	0,768 ± 0,05 ^{A,a}
Piel con cocción (C2)	226,8 ± 4,9 ^{A,a}	376,3 ± 26,2 ^{A,a}	2488,8 ± 82,1 ^{A,a}	28,91 ± 1,68 ^{A,a}	0,433 ± 0,01 ^{A,b}	9,23 ± 0,29 ^{A,a}	2,84 ± 0,1 ^{A,b}	0,647 ± 0,04 ^{A,b}

Los datos representan (promedio ± error estándar) del experimento (n=3) valores de una misma columna con superíndices diferentes son significativos ($p \leq 0,05$). Los superíndices, letra mayúscula en la misma columna indican diferencia entre las partes del rizoma, letra minúscula indica diferencia entre la aplicación y no de cocción.

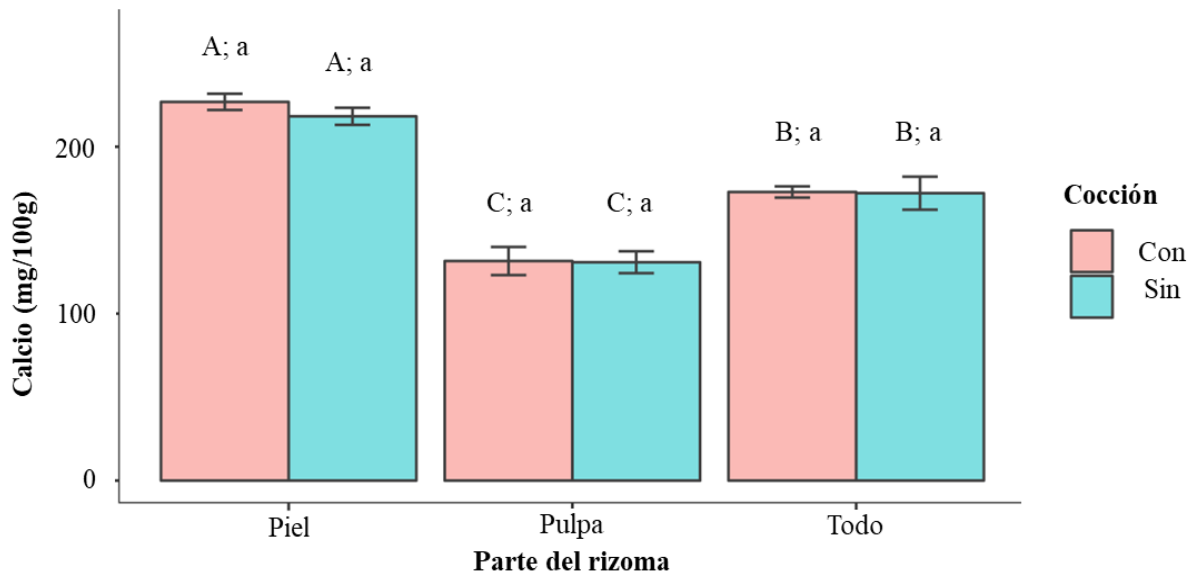


Figura 16. Influencia de la parte del rizoma en el contenido de calcio.

El **magnesio** presenta diferencia significativa ($p \leq 0,05$) en las partes del rizoma y la aplicación de cocción (Figura 17). En las partes del rizoma, el mayor contenido lo presentó la piel (229,3 mg/100g) y el menor la pulpa (130,2 mg/100g) este mayor contenido podría darse a que la piel del rizoma está en contacto con la tierra, simulando una raíz como en las otras planta, permitiendo la captación de minerales (Martínez et al., 2023); así mismo, la variación del contenido en las diversas partes del rizoma podría ser afectada por la fertilidad del suelo, manejo de cultivo y condiciones climáticas (Coraspe et al., 2009). Entre los tratamientos de pulpa y todo el rizoma, el mayor contenido de Mg fue 201,8 mg/100g (todo sin cocción) y según la EFSA (2022) la ingesta diaria recomendada de Mg es de 300 mg/día para mujeres y 350 mg/día para hombres mayores a 25 años; con esto se puede entender que el contenido de Mg en la piel si llega a recubrir la necesidad por día en caso de que el consumo sea de 100g, según Vormann, (2003) indica que éste elemento es importante porque actúa como cofactor de 350 enzimas celulares, que están relacionadas con el metabolismo energético, como la glucólisis y el metabolismo del ATP. Así mismo, Maraver et al. (2015) reporta que el Mg es utilizado como cofactor para el transporte de otros elementos como sodio, potasio y calcio, a través de las membranas.

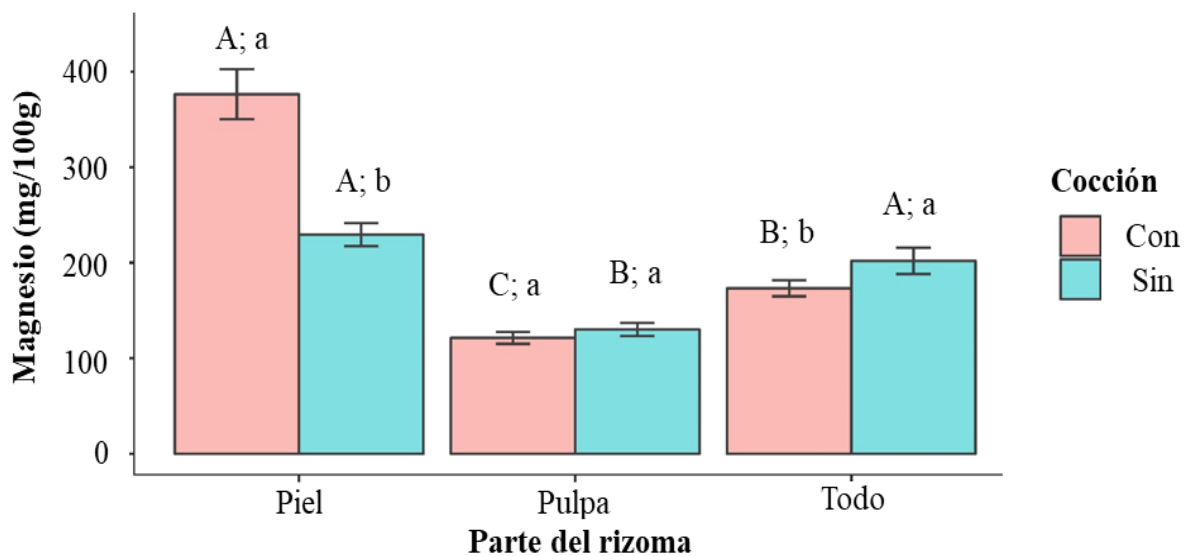


Figura 17. Influencia de la parte del rizoma y cocción en el contenido de magnesio.

La Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética ha establecido la ingesta dietética de referencia de magnesio, valores entre 40 y 170 mg/día para niños de 1 a 9 años, y 250 a 360 mg/día para adolescentes y adultos, rango que engloba los resultados obtenidos en base a una muestra de 100 g de polvo de cúrcuma por día. Por otro lado, la aplicación de cocción mostró significancia en la piel, más no en la pulpa y todo el rizoma, sin embargo la cocción no es responsable de la variabilidad de los resultados, ya que Arici et al. (2016) reportan que las diferencias que se muestra en los perfiles de cada elemento puede ser resultado del contenido de humedad de cada muestra debido a que los minerales son compuestos termoestables.

El **potasio** presento diferencia significativa ($p \leq 0,05$) en las partes del rizoma y aplicación de cocción (Figura 18). En cuanto a la variación del contenido de K por parte del rizoma (piel, pulpa y todo), se observa predominancia de éste elemento indicando un punto a favor para la cúrcuma, debido a que se puede utilizar en la alimentación de personas hipertensas, Farias et al. (2013) mencionan que la ingesta de potasio reduce la presión arterial en los hipertensos, producto de que este elemento presenta un efecto inhibitorio del sodio, por lo tanto mientras mayor sea el consumo de potasio, el sodio se expulsará por la orina. En referencia a las partes del rizoma, la piel mostró superioridad (2360,2 mg/100g) caso contrario a todo el rizoma (2292,3 mg/100g). Ordoñez et al. (2021) cuantificaron el contenido de macroelementos en *Bixa orellana* (achiote), obteniendo $K > Ca > Mg > Na$, con un contenido de K igual a 1934,68

mg/100g, dato que está por debajo del contenido encontrado en B1 (todo el rizoma), lo que indica que, al comparar ambos colorantes alimentarios naturales, predomina la cúrcuma con mejor contenido en potasio. Según la EFSA (2022) la ingesta diaria recomendada para el K es de 3500 mg/día para mujeres y varones mayores a 25 años, de acuerdo con estos datos y el resultado obtenido en la Tabla 10 se entiende que no recubre el contenido total por día. En este caso el K muestra una diferencia significativa en la piel y todo el rizoma al aplicar cocción, mientras que en la pulpa el contenido se mantiene con la aplicación de cocción, según Coraspe et al. (2009) esta variación se da por los factores del suelo y siembra.

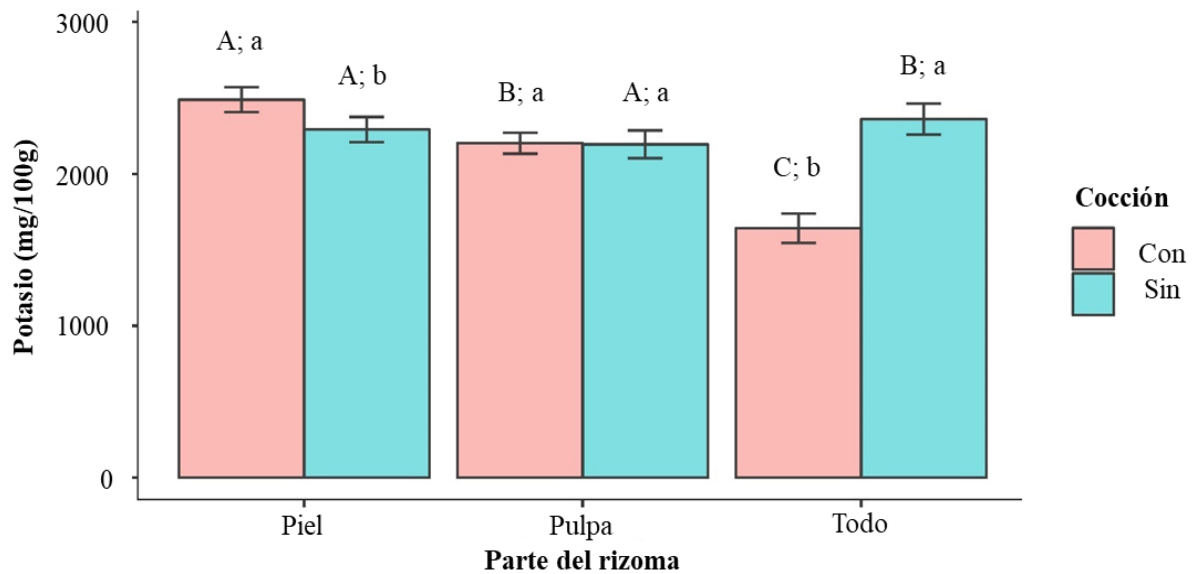


Figura 18. Influencia de la parte del rizoma y cocción en el contenido de potasio.

El **sodio** presenta diferencia significativa ($p \leq 0,05$) referente a las partes del rizoma y a la aplicación de cocción (Figura 19). En las partes del rizoma el mayor contenido de Na fue en la piel (21,12 mg/100g) y el menor en la pulpa (15,57 mg/100g). Según la EFSA (2022) el contenido de ingesta diaria para el sodio es de 1300 mg/día para hombres y mujeres mayores a 25 años, por ende, se deduce que el polvo de cúrcuma no es buena fuente de Na debido a que el contenido que presenta en base a 100g representa el 1,6% de lo que es la ingesta diaria. Por otro lado, al aplicar cocción se nota que el contenido en la piel se incrementa en un 36,8% mientras que en la pulpa y todo el rizoma disminuye un 22,2% y 22,9%, respectivamente, esta variación probablemente se deba a la humedad de las muestras (Arici et al., 2016).

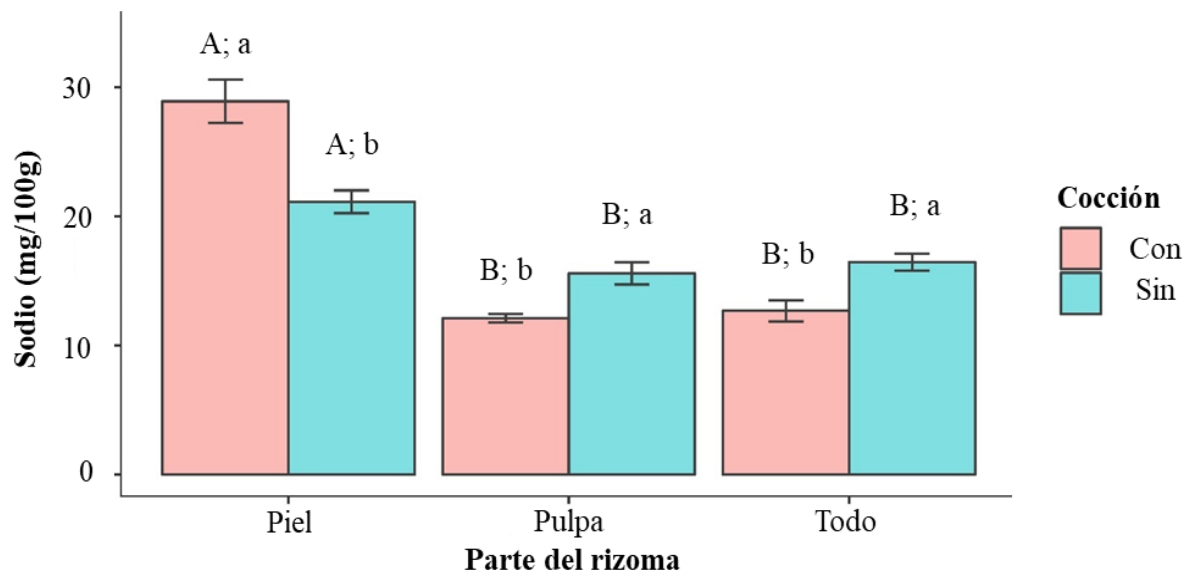


Figura 19. Influencia de la parte del rizoma y cocción en el contenido de sodio.

4.5.2. Microelementos

El **cobre** presenta diferencia significativa ($p \leq 0,05$) referente a las partes del rizoma y cocción (Figura 20). El rango de Cu va de 0,452 a 0,738 mg/100g lo cual no cubre la ingesta diaria (1,6 mg/ día para hombres y 1,3 mg/día para mujeres > 25 años) establecida por la EFSA (2022). Se sabe que el Cu es necesario en el organismo para poder efectuar funciones como eliminar radicales libres o efectuar reacciones redox ya que este elemento se caracteriza por donar y aceptar electrones (Linder y Hazegh, 2019). Desde el punto de vista de la cocción, esta provoca un efecto negativo en las muestras, disminuyendo el contenido en la piel, pulpa y todo en un 41,3%; 36,8% y 15,8%, respectivamente. Los nutrientes (minerales) no son afectados por la temperatura, pero si puede disminuir su contenido en el alimento al igual que las vitaminas hidrosolubles (se disuelven en agua), por lo tanto, al someter la cúrcuma a cocción posiblemente ésta pierde parte de su contenido mineral en el agua, ante esto Noguera et al. (2018) reconocen a este efecto como una transferencia de masa, la cual se ejecuta mediada por fuerzas que resisten e impulsan en diversas direcciones produciendo la difusión (dispersar el material en su alrededor), por ende esto provoca cambios en la estructura química de los componentes nutricionales alterando las propiedades fisicoquímicas.

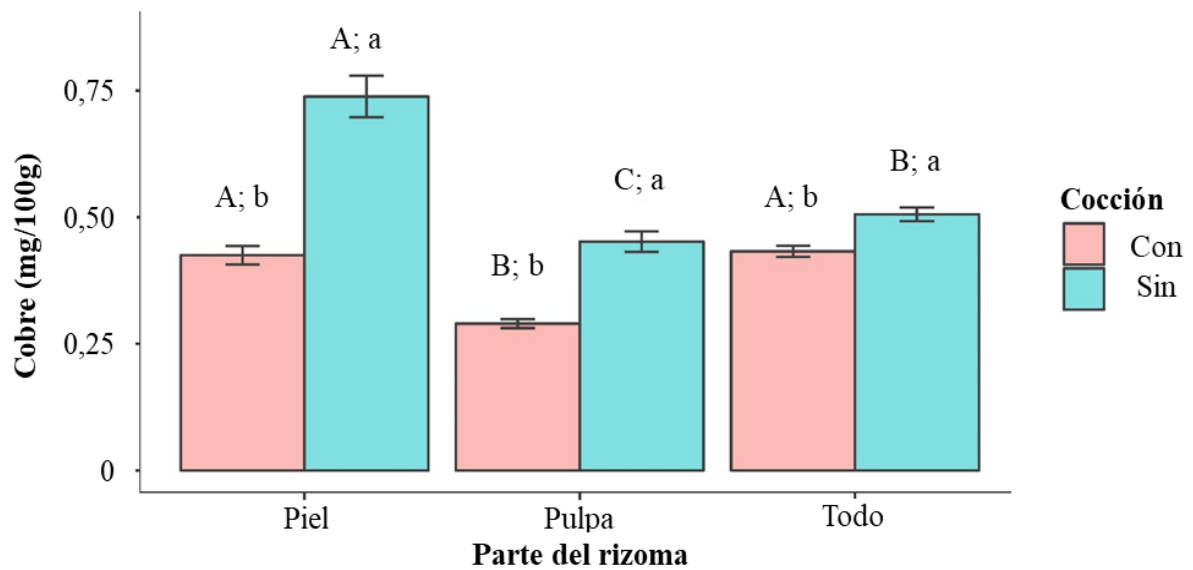


Figura 20. Influencia de la parte del rizoma y cocción en el contenido de cobre.

El **hierro** presenta diferencia significativa ($p \leq 0,05$) en cuanto a la influencia de la cocción y la parte del rizoma (Figura 21). La cocción afectó de forma positiva en la piel y pulpa, mientras que en el análisis de todo el contenido de Fe disminuye, esta variabilidad se da debido a que el agua utilizada para la cocción probablemente contenía Fe en su composición (disolución de rocas) (Skikne et al., 2017); lo cual permitió incrementar el contenido de Fe en la piel y pulpa, caso contrario ocurrió en todo el rizoma. En cuanto a las partes del rizoma la piel presentó el mayor valor (8,13 mg/100g) y la pulpa el menor (4,83 mg/100g), el contenido en la piel está próximo a la dosis diaria recomendada por la EFSA (2022), siendo 11 mg/día para varones y 16 mg/día para mujeres > 25 años; resaltándose como el mayor microelementos presente en los alimentos vegetales en la forma de Fe no hémico, la absorción de este es variado de acuerdo al estado nutricional de la persona y el estado fisiológico en que se encuentre el cuerpo, ya sea frente al crecimiento o frente a un embarazo (Hultén et al., 2016), razón por la cual el requerimiento es mayor para la mujer.

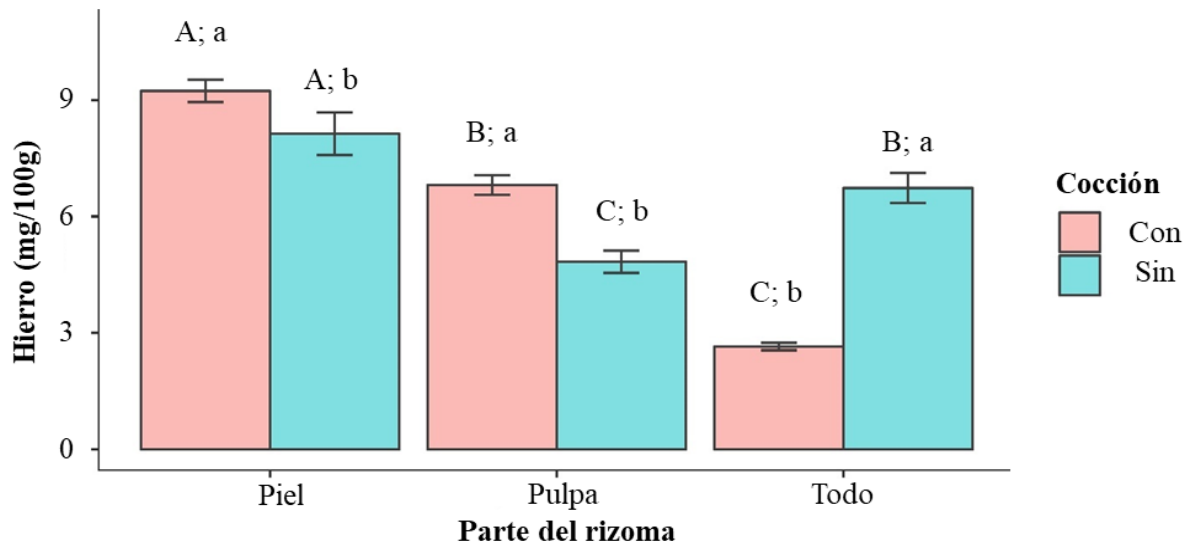


Figura 21. Influencia de la parte del rizoma y cocción en el contenido de hierro.

El **zinc** presenta diferencia significativa ($p \leq 0,05$) en las partes del rizoma y cocción (Figura 22). Con respecto a las partes del rizoma, la piel mostró 3,01 mg/100g y la pulpa 1,59 mg/100g, quedando el zinc como el segundo elemento característico de la muestra referente a los microelementos, ante ello Guo et al. (2021) indican que el Zn se encuentra en el suelo, el cual ingresa a las células del rizoma generando el primer contacto con la piel, por ello retiene mayor contenido de este nutriente. Trinidad et al. (2012) reportan 22,6 mg/100g de muestra seca, indicando que el zinc es el microelemento predominante en el rizoma, la diferencia entre el resultado y la investigación posiblemente sea por los factores de siembra. Sin embargo, Fukalova et al. (2021) reporta entre 21 a 63 mg/g para el orégano (condimento) resultando una gran cantidad, producto que la ingesta diaria de orégano es de 5g/día, lo que significa que brinda mayor beneficio que la cúrcuma como condimento. La ingesta diaria según la EFSA (2022) para varones y mujeres > 25 años es de 7,5 mg/día, por lo tanto, el contenido determinado en la Tabla 10 para este elemento no está dentro del límite, generando que el alimento a consumir sea excesivo lo cual no está permitido ya que el polvo de cúrcuma se utiliza como un condimento (≤ 1 g/día) (Guneri, 2020).

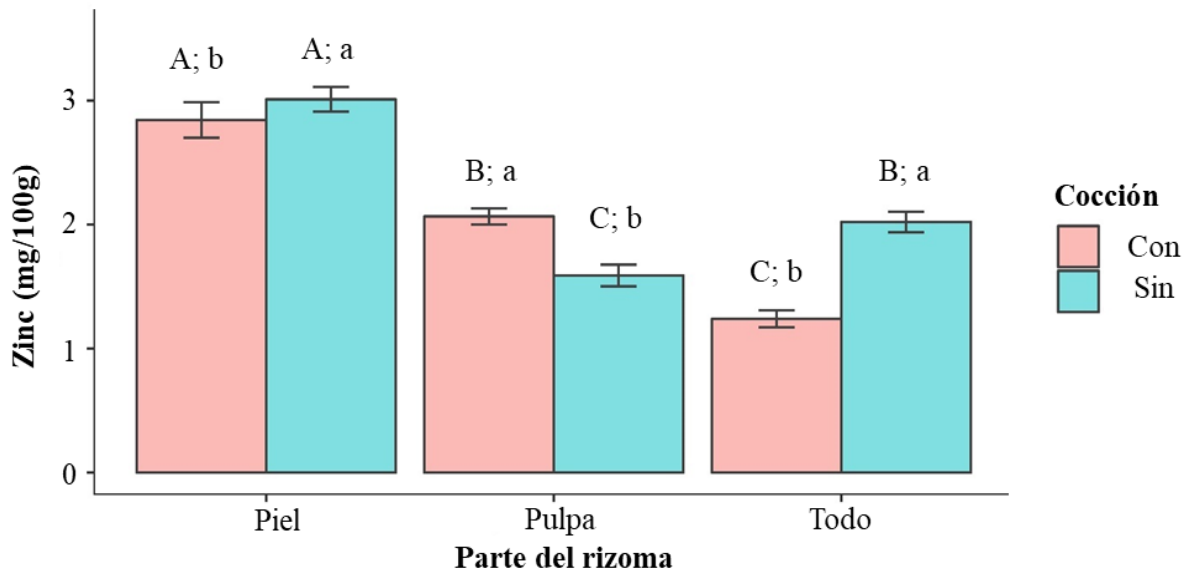


Figura 22. Influencia de la parte del rizoma y cocción en el contenido de zinc.

El **manganeso** presenta diferencia significativa ($p \leq 0,05$) en las partes del rizoma y la cocción (Figura 23). Referente al primer punto, resaltó la piel comparado con la pulpa, lo cual tiene relación con el contenido de Fe, Pacheco y Torres (2020) mencionan que el Mn con el Fe son metales que se encuentran juntos en un alimento debido a que se hallan asociados (si el Fe es mayor, el Mn es menor y de forma inversa), como se muestra en la Tabla 10.

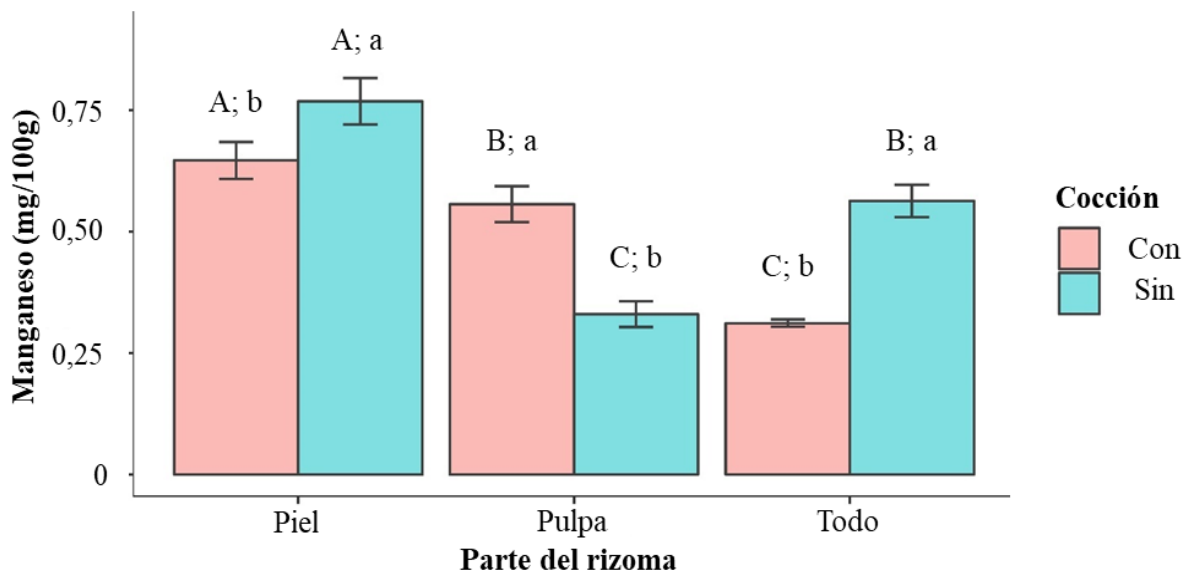


Figura 23. Influencia de la parte del rizoma y cocción en el contenido de manganeso.

Según la EFSA (2022) la ingesta diaria de este elemento es de 3mg/día para hombres y mujeres >25 años, sin embargo, el mayor contenido de Mn que se encontró en la piel (0,768mg/100g) lo que representa un 25,6% del total requerido, indicando que tampoco cubre la ingesta recomendada, si este elemento es insuficiente el organismo no funciona correctamente, porque es usado en los tejidos del cerebro para formar la enzima superóxido dismutasa de manganeso (SOD), la cual permite unir el oxígeno a los radicales libres ayudando en la protección de la membrana celular y los tejidos (Paredes, 2007).

Los resultados mostrados en base a 100g de muestra, también se calcularon en base a 1g de polvo de cúrcuma (Anexo-XVI), haciendo uso de la tabla de ingesta recomendada diaria para hombres y mujeres > 25 años (Anexo-XVII), al efectuar el cálculo se encontró valores muy pequeños (Anexo-XVIII y Anexo-XIX), según Lima et al. (2022) establece que el cálculo para el consumo de cúrcuma (condimento) es en base a 1 gramo.

V. CONCLUSIONES

- La cocción generó un efecto negativo en la concentración de carotenoides, resaltando la pulpa sin cocción (A1) 0,042 mg/100g frente a todo con cocción (B2) 0,026 mg/100g.
- El pelado y cocción influyó positivamente en la concentración de fenoles totales y capacidad antioxidante, siendo mayor pulpa con cocción (A2) y menor la piel (C1).
- La cocción afectó L y b* del color del polvo de cúrcuma. Todo lo contrario, en CRA y SAc donde (C2) > (A1 y B1), mientras que en SA la cocción tubo efecto negativo obteniendo (C1) > (B2).
- El pelado y cocción no presentó influencia en el químico proximal, macro y microelementos, pero resaltó la proteína (8,04%), carbohidratos (67,21%), Potasio y Hierro.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Se recomienda elaborar el polvo de cúrcuma con tratamiento térmico del rizoma debido a que incrementa el contenido de fenoles, capacidad antioxidante, capacidad de retención de agua y solubilidad en aceite, pero al considerar carotenoides, color, solubilidad en agua, macro y microelementos el contenido es indiferente.
- Se recomienda dar usos potenciales al subproducto de la cúrcuma (piel) porque presenta buena fuente de macro y microelementos.
- Desarrollar un estudio comparativo entre condimentos (cúrcuma, kion, achiote, orégano y paprika) para evaluar las propiedades nutricionales de cada uno.
- Evaluar el efecto del aceite esencial de la cúrcuma sobre la proliferación de bacterias y hongos en alimentos almacenados en refrigeración.
- Emplear variedades de cúrcuma para elaborar pastas, evaluando su formulación, estabilidad y aceptabilidad del consumidor.
- Analizar los niveles de proporción de cúrcuma en la aplicación de snacks para evaluar la degradación cinética del color.
- Evaluar la degradación del color y aceptabilidad de la cúrcuma en el yogurt para determinar la aceptabilidad del producto frente a colorantes artificiales.

VII. REFERENCIAS

- Abulude, F. O. (2004). Effect of processing on nutritional composition, phytate and functional properties of rice (*Oryza sativa* L) flour. *Nigerian Food Journal*, 22(1), Article 1. <https://doi.org/10.4314/nifoj.v22i1.33573>
- Ahn, J.-S., y Lee, Y.-K. (2008). Color distribution of a shade guide in the value, chroma, and hue scale. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 100(1), 18-28. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(08\)60129-8](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(08)60129-8)
- Akram, M., Ahmed, A., Usmanghani, K., Hannan, A., Mohiuddin, E., y Asif, M. (2010). *Curcuma longa* and curcumin: Review article. *Journal of Biology-Plant Biology*, 55(2), 6.
- Alonso, J. (2016). *Taller sobre el color y su medición*. E.T.S.I. Industriales (UPM). <https://oa.upm.es/42855/>
- Amatriain, M. (2000). El potasio para su salud. *Medina Naturista*, 1, 17-19. ISSN: 1576-3080
- Association of Official Analytical Chemists (1970). *Official Methods of Analysis*. (11th ed). <https://archive.org/details/officialmethodso02horw>
- Appiah, F., Oduro, I., y Ellis, W. (2011). Proximate and Mineral Composition of Artocarpus altilis Pulp Flour as Affected by Fermentation. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(7), 653-657. <https://doi.org/10.3923/pjn.2011.653.657>
- Aranda, J., Núñez, L., Villacrés, J., y González, G. (2021). Efecto de los alimentos *Curcuma longa* L, *Zingiber officinale* Roscoe, *Lupinus mutabilis* Sweet y *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh sobre la inhibición in vitro de la alfa-glucosidasa. *Revista Peruana de Medicina Integrativa*, 6(1), 5-12. <https://doi.org/10.26722/rpmi.2021.v6n1.48>
- Aremu, M., Olaofe, O., y Akintayo, E. (2007). Functional properties of some Nigerian varieties of legume seed flours and flour concentration effect on foaming and gelation properties. *Journal of Food Technology*, 5(2), 109-115.
- Arévalo, E., Arévalo, C., Baligar, V., y He. (2017). Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru. *The Science of the Total Environment*, 605-606. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.122>
- Arici, M., Yıldırım, R. M., Özülkü, G., Yaşar, B., & Toker, O. S. (2016). Physicochemical and nutritional properties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flour as affected by drying

- temperature and air velocity. *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie (Print)*, 74, 434-440. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.006>
- Array, E. J., Tonfack Djikeng, F., Kingne Kingne, F., Kingne, E. E., y Womeni, H. M. (2018). Effect of different extraction solvents on the phenolic content and antioxidant activity of turmeric (*Curcuma longa*) from South-West Region, Cameroon. *Food Research*, 3(1), 86-90. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.3\(1\).227](https://doi.org/10.26656/fr.2017.3(1).227)
- Autoridad Europea de la Seguridad Alimentaria (2022). *Ingesta diaria recomendada de macroelementos y microelementos*. <https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/dietary-reference-values>
- Ayala, R., & Azcona, M. I. (2018). Toxic effects of manganese. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 22(2), 71-75.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (4ta ed.). Pearson Educación. https://issuu.com/sibdi/docs/qu_mica_de_los_alimentos
- Bakircioglu, D., Topraksever, N., Yurtsever, S., Kizildere, M., y Kurtulus, Y. B. (2018). Investigation of macro, micro and toxic element concentrations of milk and fermented milks products by using an inductively coupled plasma optical emission spectrometer, to improve food safety in Turkey. *Microchemical Journal*, 136, 133-138. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.10.014>
- Balestra, F., Bianchi, M., y Petracci, M. (2019). Chapter 10—Applications in Meat Products. En C. M. Galanakis (Ed.), *Dietary Fiber: Properties, Recovery, and Applications* (pp. 313-344). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816495-2.00010-1>
- Barbosa, G. B., y Minguillan, J. (2021). Antioxidant activity and total phenolic content of fresh and cured rhizomes of *Curcuma longa* and *Etlingera philippinensis*. *International Food Research Journal*, 28(4), 839-847. <https://doi.org/10.47836/ifrj.28.4.20>
- Blanco, A. (2019). *Homeostasis del potasio*. <https://www.revistanefrologia.com/es/homeostasis-del-potasio-articulo-X2659800019000460>.
- Cakmak, I. y Yazici, A. (2010). Magnesium: A forgotten element in crop production. *Better Crops*, 94(2), 23-25.
- Camacho, A. y Guerra, A. (2020). Curcumina: propiedades, aplicaciones y estudios recientes con sistemas basados en polidimetilsiloxano [Trabajo monográfico, Universidad de Guanajuato]. chrome-

- extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://quimica.ugto.mx/index.php/nyt/article/viewFile/370/274
- Camacho, B., Moreno, M., Alemán, R., y Álvarez, F. (2004). Efecto de la temperatura de secado sobre la degradación de carotenoides en frutos de coroba (*Jessenia polycarpa* Karst). *Ciencia y Tecnología alimentaria*, 4(3), 206-210.
- Cano, A., Alcaraz, O., Acosta, M., y Arnao, M. B. (2002). On-line antioxidant activity determination: Comparison of hydrophilic and lipophilic antioxidant activity using the ABTS*+ assay. *Redox Report: Communications in Free Radical Research*, 7(2), 103-109. <https://doi.org/10.1179/135100002125000334>
- Carral, F., Olveira, G., y Aguilar, M. (2000). Homeostasis del calcio, fósforo y magnesio. *Medicina Integral*, 36(7), 261-266.
- Choi, O., Kang, B., Lee, Y., Lee, Y., & Kim, J. (2020). *Pantoea ananatis* carotenoid production confers toxoflavin tolerance and is regulated by Hfq-controlled quorum sensing. *MicrobiologyOpen*, 10(1), e1143. <https://doi.org/10.1002/mbo3.1143>
- CIEN. (2023). *Panorama del Mercado Internacional y Nacional de Cúrcuma* (p. 7). Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2023/05/CIEN_NSIM3_Mayo_2023_Curcuma.pdf](https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2023/05/CIEN_NSIM3_Mayo_2023_Curcuma.pdf)
- Cifuentes, M. (2011). Fisiología del metabolismo del calcio y fósforo. *Indualimentos*, 48-50.
- Cilia, A., Piñero, S., Teresa, P., Proverbio, F., y Marín, R. (2005). sulfato de magnesio: ¿una panacea? *Interciencia*, 30(9), 36-50.
- Coraspe, H. M., Muraoka, T., Franzini, V. I., De Stefano, S. M., y Do Prado, N. (2009). Absorción de macronutrientes por plantas de papa (*Solanum Tuberosum* L.) en la producción de tubérculo-semilla. *Interciencia*, 34(1), 057-063.
- Corona, J. (24 de febrero 2024). *Clasificación de los minerales*. Portal Académico del CCH. <https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/quimica2/u2/vitaminasyminerales/clasificacionMinerales>
- Correa, D. P. N., Osorio, J., Zúñiga, O., y 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>

- Cosquillo, M., Medina, M., Retuerto, M., Gutierrez, A., y Huamaní, J. (2018). Caracterización físico-química y capacidad antioxidante de extractos del rizoma de *Curcuma longa* L. *Revista Peruana de Medicina Integrativa*, 3(4), 160. <https://doi.org/10.26722/rpmi.2018.34.97>
- De, L., y De, T. (2019). Healthy food for healthy life. *Journal of Global Biosciences*, 8(9), 6453-6468.
- Delgado, A. M., Issaoui, M., & Chammem, N. (2019). Analysis of main and healthy phenolic compounds in foods. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 102(5), 1356-1364. <https://doi.org/10.1093/jaoac/102.5.1356>
- Dogoré, Y., Adouko, E., Gnanwa, J., y Brou, K. (2022). Functional properties and the antioxidant activity of *Curcuma longa* cultivated in Côte D'Ivoire. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 14(2), Article 2. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2022.14.2.0376>
- Dosoky, N., y Setzer, W. (2018). Chemical composition and biological activities of essential oils of curcuma species. *Nutrients*, 10(9), 1196. <https://doi.org/10.3390/nu10091196>
- Dutta, C., Yadav, D. K., Arora, V. K., y Malakar, S. (2023). Drying characteristics and quality analysis of pre-treated turmeric (*Curcuma longa*) using evacuated tube solar dryer with and without thermal energy storage. *Solar Energy*, 251, 392-403. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.01.032>
- EL-Meghawry, A., Hassan, S., Mohamed, A., y Mahmoud, H. (2019). Turmeric or *Curcuma longa* Linn. *Genetic Engineering and Biotechnology*, 447. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812491-8.00059-X>
- Fares, C., Platani, C., Baiano, A., y Menga, V. (2010). Effect of processing and cooking on phenolic acid profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta enriched with debranning fractions of wheat. *Food Chemistry*, 119(3), 1023-1029. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.006>
- Figuerola, F., Muñoz, O., & Estévez, A. M. (2008). La linaza como fuente de compuestos bioactivos para la elaboración de alimentos. *Agro sur*, 36(2), Article 2. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2008.v36n2-01>

- Foster, M., & Samman, S. (2015). Chapter Three - Vegetarian Diets Across the Lifecycle: Impact on Zinc Intake and Status. En J. Henry (Ed.), *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 74, pp. 93-131). <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2014.11.003>
- 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., y 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>
- Gimeno, E. (2004). Compuestos fenólicos, un análisis de sus beneficios para la salud. *Nutrición*, *23*(6), 80-84.
- González, A. M., y Vicente, I. (2007). *El color en la industria de los alimentos*. Editorial Universitaria (Cuba).
- González, J., Sanz, D., Claramunt, R., Lavandera, J.-L., Alkorta, I., y Elguero, J. (2015). *Curcumin and curcuminoids: Chemistry, structural studies and biological properties*. *81*(4), 278-310.
- Goswami, R. (2016). Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism. *The Indian Journal of Medical Research*, *144*(3), 489-490. <https://doi.org/10.4103/0971-5916.198664>
- Guneri, N. (2020). A review on turmeric (*Curcuma longa* L.) and used in seafood. *Marine Science and Technology Bulletin*, *10*(1), 71-84. <https://doi.org/10.33714/masteb.771756>
- Guo, X., Ma, X., Zhang, J., Zhu, J., Lu, T., Wang, Q., Wang, X., Hua, W., y Xu, S. (2021). Meta-analysis of the role of zinc in coordinating absorption of mineral elements in wheat seedlings. *Plant Methods*, *17*(1), 105. <https://doi.org/10.1186/s13007-021-00805-7>
- Hall, J. (2016). *Tratado de fisiología médica* (13.^a ed.). https://www.academia.edu/52660721/Guyton_y_Hall_Tratado_de_fisiolog%C3%ADa_m%C3%A9dica
- Heiss, C., Schroeter, H., Balzer, J., Kleinbongard, P., Matern, S., Sies, H., y Kelm, M. (2006). Endothelial function, nitric oxide, and cocoa flavanols. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, *47*(2), S128-135; discussion S172-176. <https://doi.org/10.1097/00005344-200606001-00007>

- Hildebrand, J. H. (2002). Solubility (world). ACS Publications; *American Chemical Society*.
<https://doi.org/10.1021/ja02265a002>
- Hirun, S., Utama-ang, N., & Roach, P. D. (2014). Turmeric (*Curcuma longa* L.) drying: An optimization approach using microwave-vacuum drying. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 2127-2133. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0709-9>
- Hoba, A. M. F., Digbeu, Y. D., Binaté, S., Dué, E. A., y Kouamé, L. P. (2018). Fatty acids and physicochemical compositions of dried and roasted blighia sapida arils oils (*Ackee apple*) from Côte d'Ivoire. *Asian Journal of Research in Biochemistry*, 2(1), 1-7.
<https://doi.org/10.9734/ajrb/2018/v2i1374>
- Huamani-H, A. L., Ponce-Ramírez, J. C., Málaga-Juárez, J., Huamani-H, A. L., Ponce-Ramírez, J. C., y Málaga-Juárez, J. (2020). Optimización del proceso de cocción de quinua utilizando el diseño 3k y la función de deseabilidad: Grado de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad y desprendimiento de cotiledones. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 381-390.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.10>
- Hultén, L., Gramatkovski, E., Gleerup, A., y Hallberg, L. (2016). Iron absorption from the whole diet. Relation to meal composition, iron requirements and iron stores. *European Journal of Clinical Nutrition*, 49(11), 794-808.
- Ikpeama., Ahamefula., Onwuka., Nwankwo y Chibuzo. (2014). Nutritional Composition of Tumeric (*Curcuma longa*) and its Antimicrobial Properties. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Vol 5 n° 10, pp. 1085 – 1089.
- Jideani, V. (2011). Functional Properties of Soybean Food Ingredients in Food Systems. Soybean—Biochemistry, *Chemistry and Physiology*. InTech.
<https://doi.org/10.5772/14668>
- Jiménez, M. (2020). *Efectos del cocinado de los alimentos sobre los compuestos fitoquímicos y la actividad antioxidante*. [Trabajo de fin de grado, Universidad de Valladolid]. Repositorio documental de la Universidad de Valladolid. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/42173/TFG-M-N2018.pdf?sequence=1>
- Karadag, A., Ozcelik, B., y Saner, S. (2009). Review of Methods to Determine Antioxidant Capacities. *Food Analytical Methods*, 2(1), 41-60. <https://doi.org/10.1007/s12161-008-9067-7>

- Khoo, H.-E., Prasad, K. N., Kong, K.-W., Jiang, Y., y Ismail, A. (2011). Carotenoids and their isomers: Color pigments in fruits and vegetables. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 16(2), 1710-1738. <https://doi.org/10.3390/molecules16021710>
- Kim, H. J., y Paik, H.-D. (2012). Functionality and Application of Dietary Fiber in Meat Products. *Food Science of Animal Resources*, 32(6), 695-705. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.6.695>
- Kiyama, R. (2020). Nutritional implications of ginger: Chemistry, biological activities and signaling pathways. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 86(1), 108486. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2020.108486>
- Kohn, C., Fontoura, A., Kempka, A., Demiate, I., Kubota, E., y Prestes, R. (2015). Assessment of different methods for determining the capacity of water absorption of ingredients and additives used in the meat industry. *Journal Food Research*, 22(1), 356-362.
- Komonsing, N., Khuwijitjaru, P., Nagle, M., Müller, J., y Mahayothee, B. (2021). Effect of drying temperature together with light on drying characteristics and bioactive compounds in turmeric slice. *Journal of Food Engineering*, 317, 2. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110695>
- Korc, I., Bidegain, M., y Martell, M. (1995). Bioquímica y sistemas antioxidantes Implicancia en la patología neonatal. *Revista Médica Uruguay*, 11(2), 121-135.
- Korese, J. K., Achaglinkame, M., y Chikpah, S. (2021). Effect of hot air temperature on drying kinetics of palmyra (*Borassus aethiopum* Mart.) seed-sprout fleshy scale slices and quality attributes of its flour. *Journal of Agriculture and Food Research*, 6(1), 100-249. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100249>
- Korese, J. K., y Nyame, Y. (2022). 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), Article 2. <https://doi.org/10.47881/376.967x>
- Kumar, M., Kumar, S., y Kaur, S. (2011). Investigations on DNA protective and antioxidant potential of chloroform and ethyl acetate fractions of *Koelreuteria paniculata* Laxm. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 5. <https://doi.org/10.5897/AJPP11.101>
- Kumar, S., Singh, N., Singh, A., Singh, N., y Sinha, R. (2014). Use of *Curcuma longa* L. extract to stain various tissue samples for histological studies. *An International Quarterly*

- Journal of Research in Ayurveda*), 35(4), 447. <https://doi.org/10.4103/0974-8520.159027>
- Kutti, D., y Lingamallu, J. (2012). Comparison of chemical composition and antioxidant potential of volatile oil from fresh, dried and cured turmeric (*Curcuma longa*) rhizomes. *Industrial Crops and Products*, 38, 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.01.014>
- Kuttigounder, D., Lingamallu, J. R., y Bhattacharya, S. (2011). Turmeric Powder and Starch: selected physical, physicochemical, and microstructural properties. *Journal of Food Science*, 76(9), 1284-1291. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02403.x>
- Lako, J., Trenerry, V. C., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S., y Premier, R. (2007). Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry*, 101(4), 1727-1741. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.031>
- Leong, L. P., & Shui, G. (2002). An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. *Food Chemistry*, 76(1), 69-75. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00251-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00251-5)
- Li, S., Yuan, W., Deng, G., Wang, P., Yang, P., y Aggarwal, B. (2011). Chemical composition and product quality control of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Pharmaceutical Crops*, 2(1). <https://benthamopen.com/ABSTRACT/TOPHARMCJ-2-28>
- Lim, T. (2016). *Curcuma longa*-Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants. *Springer International Publishing*, 12(1), 241-362. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26065-5_14
- Lima, M. S., Plácido, G. R., Silva, J. A., Célia, J. A., Caliari, M., Oliveira, D. E., Correia, J. S., y Silva, M. A. (2022). Effects of drying temperature on the bioactive and technological properties of turmeric (*Curcuma longa* L.) flour. *Food Science and Technology*, 42, e76122. <https://doi.org/10.1590/fst.76122>
- Linder, M. C., y Hazegh, M. (2019). Copper biochemistry and molecular biology. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 63(5), 797S-811S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/63.5.797>
- Lindon, J., Tranter, G., y koppennal, D. (2016). *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry* (3ra ed., Vol. 1). <https://shop.elsevier.com/books/encyclopedia-of-spectroscopy-and-spectrometry/lindon/978-0-12-803224-4>

- Liu, C., Hu, B., Cheng, Y., Guo, Y., Yao, W., y Qian, H. (2021). Carotenoids from fungi and microalgae: A review on their recent production, extraction, and developments. *Bioresource Technology*, 337, 125398. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125398>
- Llacuna, L., y Mach, N. (2012). Papel de los antioxidantes en la prevención del cáncer. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 16(1), 16-24. [https://doi.org/10.1016/S2173-1292\(12\)70067-4](https://doi.org/10.1016/S2173-1292(12)70067-4)
- Llano, S. M., Gómez, A. M., y Duarte-Correa, Y. (2022). Effect of drying methods and processing conditions on the quality of *Curcuma longa* powder. *Processes*, 10(4), 702. <https://doi.org/10.3390/pr10040702>
- Llano, S., Gómez, J., Londoño, y Restrepo, A. (2019). Antioxidant activity of curcuminoids. *Physical Chemistry Chemical Physics*, Vol 21, n° 7, pp. 3752 – 3760. DOI:10.1039/C8CP06708B
- López, P. (2017). *Química e industria de la curcumina* [Tesis monográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio de la UNMSM. chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/7516/Lopez_cp.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Ma, Y., Coyne, C. J., Grusak, M. A., Mazourek, M., Cheng, P., Main, D., y McGee, R. J. (2017). Genome-wide SNP identification, linkage map construction and QTL mapping for seed mineral concentrations and contents in pea (*Pisum sativum* L.). *BMC Plant Biology*, 17(1), 43. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0956-4>
- Maizura, M., Aminah, A., y Wan Aida, W. (2011). Total phenolic content and antioxidant activity of kesum (*Polygonum minus*), ginger (*Zingiber officinale*) and turmeric (*Curcuma longa*) extract. *International Food Research Journal*, 18.
- Maldonado, O., Jiménez, E. N., Guapillo, M. R. B., Ceballos, G. M., y Méndez, E. (2010). Radicales libres y su papel en las enfermedades crónico-degenerativas. *Revista Médica*, 10(2), 33-39.
- Maraver, F., Vitoria, I., Ferreira-Pêgo, C., Armijo, F., y Salas, J. (2015). Magnesio en el agua de consumo público y aguas minerales naturales en España y su contribución en cubrir las necesidades nutricionales. *Nutrición Hospitalaria*, 31(5), 2297-2312. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.5.8589>
- Martínez, J., y Iriando, C. (19 de diciembre 2023). *Disoluciones: Factores que influyen en la solubilidad*. <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/solubilidad>

- Martínez, M., Rodríguez, M., Campagna, M., Bettucci, G., Ferretti, M., Mandón, E., y Srebot, M. (2023). *Raíz*. https://www.google.com.pe/books/edition/Cultivo_de_ra%C3%ADces_y_tub%C3%A9rculos_tropica/XCBSQplbTNwC?hl=es&gbpv=1&dq=libro+sobre+raices+comestibles&printsec=frontcover
- Martins, R. M., Pereira, S. V., Siqueira, S., Salomão, W. F., y Freitas, L. (2013). Curcuminoid content and antioxidant activity in spray dried microparticles containing turmeric extract. *Food Research International*, 50(2), 657-663. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.030>
- Marzuki, S. U., Pranoto, Y., Khumsap, T., y Nguyen, L. T. (2020). Effect of blanching pretreatment and microwave-vacuum drying on drying kinetics and physicochemical properties of purple-fleshed sweet potato. *Journal of Food Science and Technology*, 58(8), 2884-2895. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04789-5>
- Mbabazi, R., Harding, R., Khanna, H., Namanya, P., Arinaitwe, G., Tushemereirwe, W., Dale, J., y Paul, J. Y. (2020). Pro-vitamin A carotenoids in East African highland banana and other Musa cultivars grown in Uganda. *Food Science & Nutrition*, 8(1), 311-321. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1308>
- Meléndez, A. J., Vicario, I. M., y Heredia, F. J. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 209-215.
- Mena, P., García, C., Navarro, J., Moreno, D. A., Bartual, J., Saura, D., y Martí, N. (2011). Phytochemical characterization for industrial use of pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Spain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(10), 1893-1906. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4411>
- Mihaylova, D., Vrancheva, R., Petkova, N., Ognyanov, M., Desseva, I., Ivanov, I., Popova, M., y Popova, A. (2018). Carotenoids, tocopherols, organic acids, carbohydrate and mineral content in different medicinal plant extracts. *Zeitschrift Für Naturforschung C*, 73(11-12), 439-448. <https://doi.org/10.1515/znc-2018-0057>
- Mínguez, M. I., Pérez, A., y Hornero, D. (2005). Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales: Mucho más que simples “colorantes” naturales. *Agroscic*. <https://digital.csic.es/handle/10261/5754>
- Moreno, C., Cerda, L., Cerda, V., Pilamala, A., y Pérez, A. (2017). Proteína de harinas de maíz, cebada, quinua, trigo nacional y papa: Características y funcionalidad como sustitutos

- de la proteína de harina de trigo importado en la producción de pan y fideos. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 6(3), 201-216.
- Moya, E., & López, O. (2021). *Incremento de la solubilidad de la curcumina extraída de la *Curcuma longa* L con mecanismos físicos y mecánicos*. [Tesis de maestría en Química, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio documental de la UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/33205>
- Muñoz, A., Sáenz, A., y López, L. (2014). Citric Acid: Interesting Compound. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 6(12), 18-23.
- Nguyen, T., Si, J., Kang, C., Chung, B., Chung, D., y Kim, D. (2017). Facile preparation of water soluble curcuminoids extracted from turmeric (*Curcuma longa* L.) powder by using steviol glucosides. *Food Chemistry*, 214, 366-373. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.102>
- Noguera, F., Menomi, C., Montero, D., Gigante, S., Aude, I., y Peña, N. (2018). *Principios de la preparación de alimentos*. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/>
- Nunes, R., Forster, T., Gomes, M., Rostagno, M., Martín, J., y Meireles, M. A. (2013). Uses and applications of extracts from natural sources. *Green Chemistry*. <https://doi.org/10.1039/9781849737579-00001>
- Odoemelam, S. (2003). Chemical composition and functional properties of conophor nut (*Tetracapidium conophorum*) flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 38, 729-734. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2003.00725.x>
- Office of Dietary Supplements. (2022). *Strengthening Knowledge and Understanding of Dietary Supplements*. National Institutes of Health. <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Zinc-DatosEnEspanol/>
- Ordoñez, E. S., Menacho, T., y Reategui, D. (2021). Cuantificación de minerales en plantas medicinales y sus infusiones, utilizando Espectroscopía de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES). *Agroindustrial Science*, 11(3), 315-321. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.03.09>
- Osundahunsi, O. F., Fagbemi, T. N., Kesselman, E., y Shimoni, E. (2003). Comparison of the physicochemical properties and pasting characteristics of flour and starch from red and white sweet potato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(8), 2232-2236. <https://doi.org/10.1021/jf0260139>

- Pacheco, E. J., y Torres, M. B. (2020). *Validación de un método analítico para la determinación de hierro (Fe) total y manganeso (Mn) en agua potable, natural y residual por espectroscopía de absorción atómica* [Tesis de grado en Química, Universidad de Córdoba]. Repositorio institucional Unicordoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/2999>
- Palermo, M., Pellegrini, N., y Fogliano, V. (2014). The effect of cooking on the phytochemical content of vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1057-1070. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6478>
- Palmer, B. F. (2015). Regulation of Potassium Homeostasis. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 10(6), 1050. <https://doi.org/10.2215/CJN.08580813>
- Pantoja, L., Prieto, G., y Aguirre, E. (2020). Caracterización de la harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y la harina de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) para su industrialización. *Tayacaja*, 3(1). <https://doi.org/10.46908/rict.v3i1.72>
- Paredes, F. (2007). *Determinación de Mn en muestras de orina y sangre por espectroscopía de absorción atómica con atomización electrotérmica utilizando diferentes modificadores de matriz* [Tesis de especialidad, Universidad de los Andes]. Repositorio institucional de la Universidad de los Andes (UPA). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/postgrado/tde_arquivos/22/TDE-2011-02-24T04:06:43Z-662/Publico/paredesfanny.pdf
- Peacock, M. (2010). Calcium metabolism in health and disease. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*. 1, 23-30. <https://doi.org/10.2215/CJN.05910809>
- Peláez, P., Roldan, W., Carmona, A., y Raza, R. (2019). Evaluación de la capacidad antioxidante y estabilidad térmica de la cáscara, zumo y semilla de lima dulce, limón rugoso y limón tipo mandarina. *Investigación y Amazonía, Tingo María, Perú*, 9(7), 38-46.
- Pérez, E., Santos, F., y Coto, E. (2009). Homeostasis del magnesio: Etiopatogenia, clínica y tratamiento de la hipomagnesemia. A propósito de un caso. *Nefrología (Madrid)*, 29(6), 518-524.
- Pinzón, S., Cabrera, L., y Pico, S. M. (2023). La *Curcuma longa* como anticancerígeno: Una revisión de la literatura. *Salud*, 26(1). <https://doi.org/10.22267/rus.242601.308>
- Poblete, T., Rebolledo, K., Barrera, C. R., Ulloa, D., Valenzuela, M., Valenzuela, C. F., Pavez, E., Mendoza, R. W. D., Narbona, C., González, J. J., Estévez, S. P., Ortega, R., y

- González, C. (2020). Effect of germination and cooking on iron content, phytic acid and lectins of four varieties of Chilean beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal Of The Chilean Chemical Society*, 65(4), 4937-4942. <https://doi.org/10.4067/s0717-97072020000404937>
- Prasad, R., y Shivay, Y. (2021). Scientific and medical research support can increase export earnings from turmeric (*Curcuma longa*). *National Academy Science Letters*, 44, 1-3. <https://doi.org/10.1007/s40009-021-01057-8>
- Quirós, M. I., Vargas, F., Quesada, S., Azofeifa, G., Wilhelm, K., Vásquez, F., Alvarado, D., Sánchez, A., y Navarro, M. (2022). Polyphenolic HRMS characterization, contents and antioxidant activity of *Curcuma longa* rhizomes from Costa Rica. *Advances in Antioxidant Ingredients from Natural Products*, 11(4), 620. <https://doi.org/10.3390/antiox11040620>
- Rafecas, M., Cámara, M., Daschner, Á., Giner, R. M., Morales Navas, F. J., Portillo Baquedano, M. P., Rubio Armendáriz, C., Ruiz Leal, M. J., y Talens Oliag, P. (2020). *Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre el riesgo asociado al consumo de complementos alimenticios que contienen curcumina como ingrediente*. Revista del comité científico de la AESAN 32; pp. 85-132. <http://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/3293>
- Raghavendhar, K., y Devanand, L. (2019). Curcumin: Biological, Pharmaceutical, Nutraceutical, and Analytical Aspects. *Molecules*, 24(16), 2930. <https://doi.org/10.3390/molecules24162930>
- Raja, K. B., Simpson, R. J., & Peters, T. J. (2015). Comparison of $^{59}\text{Fe}^{3+}$ uptake in vitro and in vivo by mouse duodenum. *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 901(1), 52-60. [https://doi.org/10.1016/0005-2736\(87\)90255-0](https://doi.org/10.1016/0005-2736(87)90255-0)
- Rajkumari, S., y Sanatombi, K. (2017). Nutritional value, phytochemical composition, and biological activities of edible *Curcuma* species: A review. *International Journal of Food Properties*, 20 (sup3), S2668-S2687. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1604490>
- Ray, A., Mohanty, S., Jena, S., Sahoo, A., Acharya, L., Panda, P. C., Sial, P., Duraisamy, P., y 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, 100357.
<https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100357>
- Rivas, M., Zamudio, P. B., y Bello, L. A. (2009). Efecto del grado de acetilación en las características morfológicas y fisicoquímicas del almidón de plátano. *Revista mexicana de ingeniería química*, 8(3), 291-297.
- Rodríguez, D., & Kimura, M. (2004). *Carotenoid Analysis* (Vol.2). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08cbae5274a31e00013d4/tech02.pdf>
- Romero, A. L., Falcon, M., Barron, J. M., Silveira, M. I., y Alfaro, R. H. (2010). Evaluación de color del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) Por métodos instrumentales y sensoriales. *Revista Mexicana de Agronegocios*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.93569>
- Root, A. W. (2011). Calcium, Phosphorus, and Magnesium Metabolism. *Rudolph's Pediatrics*. accesspediatrics.mhmedical.com/content.aspx?aid=7054813
- Rousseau, S., Kyomugasho, C., Celus, M., Hendrickx, M. E. G., y Grauwet, T. (2020). Barriers impairing mineral bioaccessibility and bioavailability in plant-based foods and the perspectives for food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(5), 826-843. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1552243>
- Saiz, P. (2014). Cúrcuma I (*Curcuma longa* L.). *Serie Botánica*, 7(2),84-99. ISSN: 1989-3620
- Scartezzini, P., y Speroni, E. (2000). Review on some plants of Indian traditional medicine with antioxidant activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 71(1), 23-43. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(00\)00213-0](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00213-0)
- Schmitzer, V., Veberic, R., Osterc, G., y Stampar, F. (2010). Color and Phenolic Content Changes during Flower Development in Groundcover Rose. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 135(3), 195-202. <https://doi.org/10.21273/JASHS.135.3.195>
- Schneider, C., Gordon, O. N., Edwards, R. L., y Luis, P. B. (2015). Degradation of Curcumin: From Mechanism to Biological Implications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(35), 7606-7614. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00244>
- Schuck, Mejean, Dolivet, Gaiani, C., Desobry-Banon, S., Scher, J., y Jeantet, R. (2007). Water transfer during rehydration of micellar casein powders. *Dairy Science and Technology*, 87, 425-432. <https://doi.org/10.1051/lait:2007016>

- Shahidi, F., Varatharajan, V., Oh, W. Y., y Peng, H. (2019). Phenolic compounds in agri-food by-products, their bioavailability and health effects. *Journal of Food Bioactives*, 5, 57-119. <https://doi.org/10.31665/JFB.2019.5178>
- Shalaby, E. A., Shanab, S. M. M., Hafez, R. M., y El-Ansary, A. E. (2023). Chemical constituents and biological activities of different extracts from ginger plant (*Zingiber officinale*). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00385-9>
- Sierra y Selva exportadora. (2020). *Análisis de mercado - jengibre y cúrcuma 2020*. https://issuu.com/exportadorasierrayselva/docs/jengibre-curcuma_2020
- Silva, A., Rocha, E. K., Alves, L. M., Amaral, B., Carvalho, T., Albarello, N., y Simões, C. (2015). Production and optimization through elicitation of carotenoid pigments in the in vitro cultures of *Cleome rosea* Vahl (Cleomaceae). *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 24(1), 105-113. <https://doi.org/10.1007/s13562-013-0241-7>
- Silva, P. (2012). Cobre en alimentos de consumo básico por espectroscopia de absorción atómica modalidad de llama, Costa Rica. *Revista Costarricense de salud pública*, 21(2), 92-95.
- Siqueira, M., Resende, O., Rocha, G., Gonçalves, J. A., Aparecida, J., Caliari, M., Oliveira, D., Silva, J., y Pereira, M. A. (2022). Effects of drying temperature on the bioactive and technological properties of turmeric (*Curcuma longa* L.) flour. *Food Science and Technology*, 42, e76122. <https://doi.org/10.1590/fst.76122>
- Skikne, B. S., Lynch, S. R., y Cook, J. D. (2017). Role of gastric acid in food iron absorption. *Gastroenterology*, 81(6), 1068-1071.
- Soto, G. A., Cover, P., Quintanilla, E., y Pazos, L. (2004). Efecto de la fertilización fraccionada sobre el rendimiento de *Curcuma longa* en Guatuso, Alajuela. *Agronomía Costarricense*, 28(2), 107-111.
- Spinello, A. M., Leonel, M., Mischán, M. M., y Carmo, E. L. do. (2014). Cassava and turmeric flour blends as new raw materials to extruded snacks. *Ciência e Agrotecnologia*, 38, 68-75. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000100008>
- Sreerama, Y. N., Sashikala, V. B., Pratape, V. M., y Singh, V. (2012). Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their flour functionality. *Food Chemistry*, 131(2), 462-468. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.008>

- Srinivasan, V., Thankamani, C. K., Dinesh, R., Kandiannan, K., Zachariah, T. J., Leela, N. K., Hamza, S., Shajina, O., y Ansha, O. (2016). Nutrient management systems in turmeric: Effects on soil quality, rhizome yield and quality. *Industrial Crops And Products*, 85, 241-250. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.027>
- Tagodoe, A., y Nip, W. (2007). Functional properties of raw and precooked taro (*Colocasia esculenta*) flours. *Agricultural and Food Sciences*, 29, 457-462. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.1994.TB02087.X>
- Tanvir, E., Hossen, S., Hossain, F., Afroz, R., Hua, S., Khalil, I., y Karim, N. (2017). Antioxidant properties of popular turmeric (*Curcuma longa*) varieties from Bangladesh. *Journal of Food Quality*, 9. <https://doi.org/10.1155/2017/8471785>
- Tefera, M., y Ezez, D. (2021). Effects of solvents on total phenolic content and antioxidant activity of ginger extracts. *Journal of Chemistry*, 5.
- Twinomuhwezi, H., Godswill, C., y Mihigo, R. (2020). Comparative Study of the Proximate Composition and Functional Properties of Composite Flours of Amaranth, Rice, Millet, and Soybean. *American Journal of Food Science and Nutrition*, 6(1), 6-19.
- Uauy, R., Olivares, M., y Gonzalez, M. (2021). Essentiality of copper in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 67(5 Suppl), 952-959. <https://doi.org/10.1093/ajcn/67.5.952S>
- United State Department of Agriculture. (2018). *Food Data Central. Spices, turmeric, ground*. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172231/nutrients>
- Vemula, V. R., Lagishetty, V., y Lingala, S. (2010). Solubility enhancement techniques. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 5(1), 41.
- Venegas, B. (2007). Metabolismo, nutrición y shock. *Aquichan*, 7(1), 101.
- Victorava, L. F., y Feoktistova, Y. C. (2018). El metabolismo del cobre. Sus consecuencias para la salud humana. *MediSur*, 16(4), 579-587.
- Vormann, J. (2003). Magnesium: Nutrition and metabolism. *Molecular Aspects of Medicine*, 24(1-3), 27-37. [https://doi.org/10.1016/s0098-2997\(02\)00089-4](https://doi.org/10.1016/s0098-2997(02)00089-4)
- Wahanik, A. L., Neri-Numa, I. A., Pastore, G. M., Chang, Y. K., y Clerici, M. T. (2018). Turmeric (*Curcuma longa* L.): New application as source of fiber and antioxidants in pasta with whole wheat flour. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 71(1), 8423-8435.

Zagórska, J., Kukula-Koch, W., Czop, M., Hłowiecka, K., y Koch, W. (2023). Impact of Thermal Processing on the Composition of *Curcuma longa* Rhizome. *Foods*, 12(16), 3086. <https://doi.org/10.3390/foods12163086>

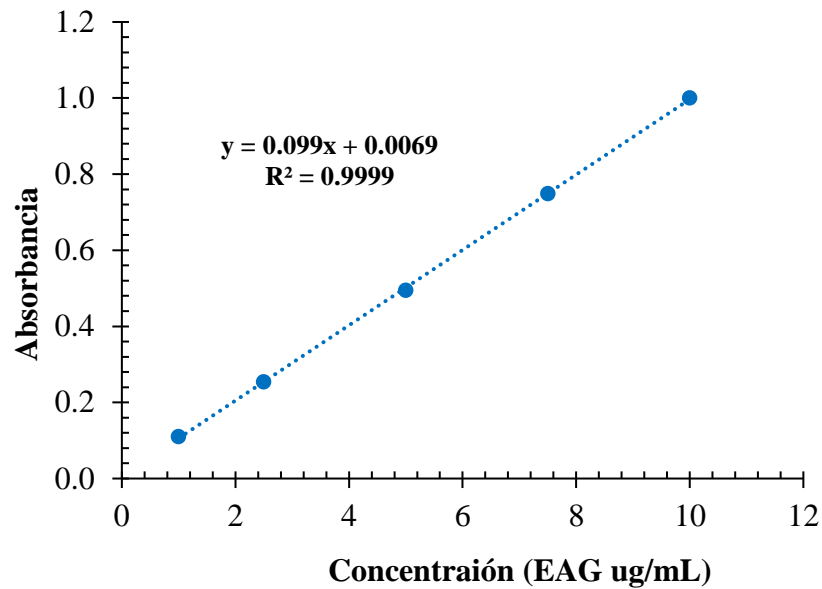
ANEXOS

Anexo-I: Pesos de las muestras de cúrcuma durante un intervalo de 1 hora.

Fecha	Tratamiento	Hora de inicio	Hora de control	Horas ocupadas	Peso inicial (g)	Peso final (g)
10 de Julio 2023	A1	10:54 am	11:54 am	7 h	74 g	55 g
		11:54 am	12:54 pm		55 g	45 g
		12:54 pm	1:54 pm		45 g	27 g
		1:54 pm	2:54 pm		27 g	26 g
		2:54 pm	3:54 pm		26 g	25 g
		3:54 pm	4:54 pm		25 g	25 g
		4:54 pm	5:54 pm		25 g	25 g
	B3	10:54 am	11:54 am	7 h	133 g	98 g
		11:54 am	12:54 pm		98 g	65 g
		12:54 pm	1:54 pm		65 g	51 g
		1:54 pm	2:54 pm		51 g	43 g
		2:54 pm	3:54 pm		43 g	38 g
		3:54 pm	4:54 pm		38 g	35 g
		4:54 pm	5:54 pm		35 g	35 g
	C5	10:54 am	11:54 am	7 h	73 g	56 g
		11:54 am	12:54 pm		56 g	35 g
		12:54 pm	1:54 pm		35 g	27 g
		1:54 pm	2:54 pm		27 g	25 g
		2:54 pm	3:54 pm		25 g	24 g
		3:54 pm	4:54 pm		24 g	23 g
		4:54 pm	5:54 pm		23 g	23 g
11 de Julio 2023	A2	8:00 am	9:00 am	6 h	83 g	62 g
		9:00 am	10:00 am		68 g	50 g
		10:00 am	11:00 am		57 g	41 g
		11:00 am	12:00 pm		41 g	27 g
		12:00 pm	1:00 pm		27 g	26 g
		1:00 pm	2:00 pm		26 g	26 g
	B3	8:00 am	9:00 am	6 h	122 g	90 g
		9:00 am	10:00 am		90 g	68 g
		10:00 am	11:00 am		68 g	50 g
		11:00 am	12:00 pm		50 g	33 g
		12:00 pm	1:00 pm		33 g	29 g
		1:00 pm	2:00 pm		29 g	29 g
	C6	8:00 am	9:00 am	6 h	90 g	66 g
		9:00 am	10:00 am		66 g	49 g
10:00 am		11:00 am	49 g		35 g	
11:00 am		12:00 pm	35 g		28 g	
12:00 pm		1:00 pm	28 g		24 g	
1:00 pm		2:00 pm	24 g		24 g	

Anexo-II. Lectura de absorbancias en las concentraciones de trabajo para la curva estándar de fenoles totales.

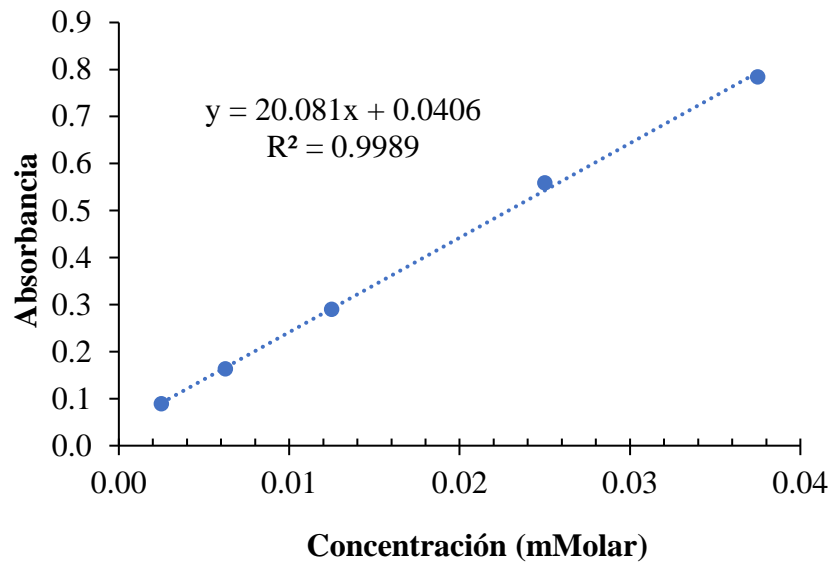
Concentración (µg EAG/mL)	Absorbancia (740 nm)
1	0,110
2,5	0,254
5	0,495
7,5	0,749
10	1,000



Anexo-III. Lectura de absorbancias en las concentraciones de trabajo para la curva estándar del radical libre DPPH

Concentración (mMol)	Absorbancia residual	Absorbancia inhibida
0,0375	0,216	0,784
0,0250	0,441	0,559
0,0125	0,710	0,290
0,0063	0,837	0,163
0,0025	0,911	0,089

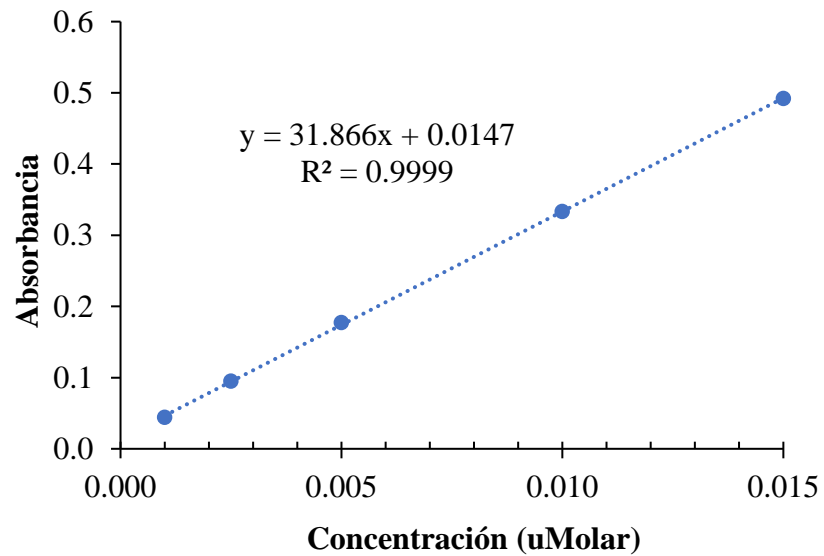
Dato de control: 1,000



Anexo-IV. Lectura de absorbancias en las concentraciones de trabajo para la curva estándar del radical libre ABTS

Concentración (mM)	Absorbancia residual	Absorbancia inhibida
0,0150	0,253	0,492
0,0100	0,412	0,333
0,0050	0,568	0,177
0,0025	0,650	0,095
0,0010	0,701	0,044

Dato de control: 0,745



Anexo-V. Cuantificación de los elementos en mg en base a 100 g de muestra

Tratamiento	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Zn	Mn
A1	124.200	126.0	2231.5	15.080	0.470	4.595	1.515	0.360
A1	137.300	126.5	2091.0	15.075	0.430	5.150	1.685	0.320
A1	130.900	138.0	2261.5	16.560	0.455	4.755	1.570	0.310
A2	140.800	114.5	2261.5	12.105	0.285	6.520	2.060	0.515
A2	129.500	123.0	2218.5	12.455	0.300	6.940	2.005	0.570
A2	124.300	126.5	2126.0	11.780	0.285	6.975	2.135	0.585
B1	170.450	186.5	2288.0	16.580	0.505	7.160	1.930	0.580
B1	182.800	206.0	2477.0	15.720	0.520	6.630	2.095	0.585
B1	163.250	213.0	2315.5	17.040	0.493	6.410	2.040	0.525
B2	172.800	175.5	1752.0	12.450	0.430	2.760	1.285	0.320
B2	176.300	180.5	1605.5	12.000	0.445	2.590	1.160	0.310
B2	169.567	164.0	1568.0	13.595	0.423	2.600	1.275	0.305
C1	215.350	218.0	2279.5	21.975	0.720	8.460	2.935	0.770
C1	215.150	242.0	2216.5	21.175	0.710	7.495	2.975	0.720
C1	224.133	228.0	2381.0	20.210	0.785	8.440	3.125	0.815
C2	225.850	406.5	2577.0	30.110	0.430	9.000	3.010	0.690
C2	222.550	359.5	2414.5	26.985	0.405	9.145	2.765	0.620
C2	232.133	363.0	2475.0	29.625	0.440	9.560	2.760	0.630

Anexo-VI. Análisis de varianza de carotenoides totales

F.V.	G.L	S.C.	C.M	F cal.	P valor	Sig.
Tratamientos	5	0,000499	0,00009983	359,40	<0,0001	**
Error experimental	12	0,000003	0,00000028			
Total	17	0,000502				

R² = 0,9933 C.V. = 1,6731 M.S.E. = 0,00052 Media = 0,0315

Anexo-VII. Análisis de varianza de Fenoles totales

F.V.	G.L	S.C.	C.M	F cal.	P valor	Sig.
Tratamientos	5	8,3129	1,6625	242,99	<0,0001	**
Error experimental	12	0.0821	0.0068			
Total	17	8,3950				

R² = 0,9902 C.V. = 1,4741 M.S.E. = 0,0827 Media = 5,612

Anexo-VIII. Análisis de varianza del radical DPPH

F.V.	G.L	S.C.	C.M	F cal.	P valor	Sig.
Tratamientos	5	0,0169	0,0034	725,48	<0,0001	**
Error experimental	12	0,0001	4,70x10 ⁻⁶			
Total	17	0,0170				
R ² = 0,9967 C.V. = 1,5394 M.S.E. = 0,9953 Media = 0,140						

Anexo-IX. Análisis de varianza del radical ABTS

F.V.	G.L	S.C.	C.M	F cal.	P valor	Sig.
Tratamientos	5	0,1089	0,0218	1289,37	<0,0001	**
Error experimental	12	2,00x10 ⁻⁴	1,70x10 ⁻⁵			
Total	17	0,1091				
R ² = 0,9981 C.V. = 1,8516 M.S.E. = 0,9974 Media = 0,222						

Anexo-X. Análisis de varianza de la luminosidad L*

F.V.	G.L	S.C.	C.M	F cal.	P valor	Sig.
Tratamientos	5	820,805	164,162	1090,84	<0,0001	**
Error experimental	54	8,12645	0,15049			
Total	59					
R ² = 0,9998 C.V. = 6,25142 M.S.E. = 0,9827 Media = 59,959						

Anexo-XI. Análisis de varianza del croma a*

F.V.	G.L	S.C.	C.M	F cal.	P valor	Sig.
Tratamientos	5	1275,43	255,085	1939,13	<0,0001	**
Error experimental	54	7,10351	0,131547			
Total	59					
R ² = 0,9869 C.V. = 27,6078 M.S.E. = 0,0095 Media = 16,8879						

Anexo-XII. Análisis de varianza del croma b*

F.V.	G.L	S.C.	C.M	F cal.	P valor	Sig.
Tratamientos	5	2947,79	589,558	885,77	<0,0001	**
Error experimental	54	35,9418	0,665589			
Total	59					
R ² = 0,9978 C.V. = 12,8111 M.S.E. = 0,0498 Media = 55,5098						

Anexo-XIII. Análisis de varianza de la capacidad de retención de agua (CRA)

F.V.	G.L	S.C.	C.M	F cal.	P valor	Sig.
Tratamientos	5	224,167	44,833	474705,99	<0,0001	**
Error experimental	12	0,001	9,4x10 ⁻⁵			
Total	17	224,168				

R² = 0,9899 C.V. = 4,1624 M.S.E. = 0,9982 Media = 87,2417

Anexo-XIV. Análisis de varianza de la solubilidad en agua (SA)

F.V.	G.L	S.C.	C.M	F cal.	P valor	Sig.
Tratamientos	5	754,02	150,80	63127,12	<0,0001	**
Error experimental	12	0,03	2,4x10 ⁻³			
Total	17	754,05				

R² = 0,9967 C.V. = 24,3832 M.S.E. = 0,0986 Media = 27,3139

Anexo-XV. Análisis de varianza de la solubilidad en aceite (SAc)

F.V.	G.L	S.C.	C.M	F cal.	P valor	Sig.
Tratamientos	5	71311	14262,2	175,44	<0,0001	**
Error experimental	12	975,534	81,2945			
Total	17	72286,6				

R² = 0,9996 C.V. = 34,2011 M.S.E. = 0,0895 Media = 190,6620

Anexo-XVI. Representación en mg del mineral que se consume en 1 gramo de cúrcuma lo que representa la cantidad máxima de consumo de dicho insumo alimentario.

Tratamiento	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Zn	Mn
A1	1.24	1.26	22.32	0.15	0.005	0.046	0.015	0.004
A1	1.37	1.27	20.91	0.15	0.004	0.052	0.017	0.003
A1	1.31	1.38	22.62	0.17	0.005	0.048	0.016	0.003
A2	1.41	1.15	22.62	0.12	0.003	0.065	0.021	0.005
A2	1.30	1.23	22.19	0.12	0.003	0.069	0.020	0.006
A2	1.24	1.27	21.26	0.12	0.003	0.070	0.021	0.006
B1	1.70	1.87	22.88	0.17	0.005	0.072	0.019	0.006
B1	1.83	2.06	24.77	0.16	0.005	0.066	0.021	0.006
B1	1.63	2.13	23.16	0.17	0.005	0.064	0.020	0.005
B2	1.73	1.76	17.52	0.12	0.004	0.028	0.013	0.003
B2	1.76	1.81	16.06	0.12	0.004	0.026	0.012	0.003

B2	1.70	1.64	15.68	0.14	0.004	0.026	0.013	0.003
C1	2.15	2.18	22.80	0.22	0.007	0.085	0.029	0.008
C1	2.15	2.42	22.17	0.21	0.007	0.075	0.030	0.007
C1	2.24	2.28	23.81	0.20	0.008	0.084	0.031	0.008
C2	2.26	4.07	25.77	0.30	0.004	0.090	0.030	0.007
C2	2.23	3.60	24.15	0.27	0.004	0.091	0.028	0.006
C2	2.32	3.63	24.75	0.30	0.004	0.096	0.028	0.006

Anexo-XVII. Ingesta diaria recomendada por la Autoridad Europea de la Seguridad Alimentaria.

Etapas de la vida	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Zn	Mn
Bebes								
7 - 11 meses	280	80	750	370	0.4	11	2.9	0.3
Niños								
1 -3 años	450	170	800	1000	0.7	7	4.3	0.5
4 - 6 años	800	230	1100	1200	1	7	5.5	1
7 - 10 años	800	230	1800	1500	1	11	7.4	1.5
Hombres								
11 - 14 años	1150	300	2700	1500	1.3	11	10.7	2
15 17 años	1150	300	3500	1500	1.3	11	14.2	3
18 - 24 años	1000	350	3500	1500	1.6	11	9.4	3
> 25 años	950	350	3500	1300	1.6	11	7.5	3
Mujeres								
11 - 14 años	1150	250	2700	1500	1.1	12	10.7	2
15 17 años	1150	250	3500	1500	1.1	13	11.9	3
18 - 24 años	1000	300	3500	1500	1.3	16	7.5	3
> 25 años	950	300	3500	1300	1.3	16	7.5	3
Posmenopausia								
	950	300	3500	1200	1.3	11	10	3
Embarazo								
	-	-	-	1500	1.5	16	1.6	-
Lactancia materna								
-	-	4000	1500	1.5	16	2.9	-	-

Anexo-XVIII. Representación en porcentaje del aporte de 1 g de cúrcuma según la ingesta diaria recomendada (IDR) para hombres mayores a 25 años.

Tratamiento	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Zn	Mn
A1	0.13	0.36	0.64	0.01	0.29	0.42	0.20	0.12
A1	0.14	0.36	0.60	0.01	0.27	0.47	0.22	0.11
A1	0.14	0.39	0.65	0.01	0.28	0.43	0.21	0.10
A2	0.15	0.33	0.65	0.01	0.18	0.59	0.27	0.17
A2	0.14	0.35	0.63	0.01	0.19	0.63	0.27	0.19
A2	0.13	0.36	0.61	0.01	0.18	0.63	0.28	0.20
B1	0.18	0.53	0.65	0.01	0.32	0.65	0.26	0.19
B1	0.19	0.59	0.71	0.01	0.33	0.60	0.28	0.20
B1	0.17	0.61	0.66	0.01	0.31	0.58	0.27	0.18
B2	0.18	0.50	0.50	0.01	0.27	0.25	0.17	0.11
B2	0.19	0.52	0.46	0.01	0.28	0.24	0.15	0.10
B2	0.18	0.47	0.45	0.01	0.26	0.24	0.17	0.10
C1	0.23	0.62	0.65	0.02	0.45	0.77	0.39	0.26
C1	0.23	0.69	0.63	0.02	0.44	0.68	0.40	0.24
C1	0.24	0.65	0.68	0.02	0.49	0.77	0.42	0.27
C2	0.24	1.16	0.74	0.02	0.27	0.82	0.40	0.23
C2	0.23	1.03	0.69	0.02	0.25	0.83	0.37	0.21
C2	0.24	1.04	0.71	0.02	0.28	0.87	0.37	0.21

Anexo-XIX. Representación en porcentaje del aporte de 1 g de cúrcuma según la ingesta diaria recomendada (IDR) para mujeres mayores a 25 años.

Tratamiento	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Zn	Mn
A1	0.13	0.42	0.64	0.01	0.36	0.29	0.20	0.12
A1	0.14	0.42	0.60	0.01	0.33	0.32	0.22	0.11
A1	0.14	0.46	0.65	0.01	0.35	0.30	0.21	0.10
A2	0.15	0.38	0.65	0.01	0.22	0.41	0.27	0.17
A2	0.14	0.41	0.63	0.01	0.23	0.43	0.27	0.19
A2	0.13	0.42	0.61	0.01	0.22	0.44	0.28	0.20
B1	0.18	0.62	0.65	0.01	0.39	0.45	0.26	0.19

B1	0.19	0.69	0.71	0.01	0.40	0.41	0.28	0.20
B1	0.17	0.71	0.66	0.01	0.38	0.40	0.27	0.18
B2	0.18	0.59	0.50	0.01	0.33	0.17	0.17	0.11
B2	0.19	0.60	0.46	0.01	0.34	0.16	0.15	0.10
B2	0.18	0.55	0.45	0.01	0.33	0.16	0.17	0.10
C1	0.23	0.73	0.65	0.02	0.55	0.53	0.39	0.26
C1	0.23	0.81	0.63	0.02	0.55	0.47	0.40	0.24
C1	0.24	0.76	0.68	0.02	0.60	0.53	0.42	0.27
C2	0.24	1.36	0.74	0.02	0.33	0.56	0.40	0.23
C2	0.23	1.20	0.69	0.02	0.31	0.57	0.37	0.21
C2	0.24	1.21	0.71	0.02	0.34	0.60	0.37	0.21
