

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS



***CÚRCUMA (*Curcuma longa*): UNA REVISIÓN
BIBLIOGRÁFICA DEL PROCESAMIENTO, PROPIEDADES
FUNCIONALES Y CAPACIDAD ANTIMICROBIANA***

AFE a Tesis presentada a la Universidad de Chile para optar al grado de
Magíster en Ciencias de los Alimentos área de Especialización en
Ingeniería y Tecnología de los Alimentos Avanzada y Memoria para optar
al Título de Ingeniero en Alimentos por:

Ignacio Nicolás Esparza Zelada

Director/a de Tesis: Luis Puente Diaz

Co-Director/a de Tesis: Cielo Char Aubry

Santiago-Chile

MAYO 2021

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS
INFORME DE APROBACIÓN DE AFE A TESIS DE MAGÍSTER.

Se informa a la Dirección de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas que la AFE a Tesis de Magíster y Memoria de Título presentada por el candidato

Ignacio Nicolás Esparza Zelada

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluadora de Tesis como requisito para optar al grado de Magíster en Ciencias de los Alimentos, Área de Especialización: Ingeniería y Tecnología de los Alimentos Avanzada y Título de Ingeniero en Alimentos, en el examen público rendido el día

Director de Tesis:

Luis Puente Diaz

Co-director de Tesis:

Cielo Char Aubry

Comisión Evaluadora de Tesis:

Roberto Lemus Mondaca

Felipe Oyarzun Ampuero

Angélica Reyes Jara

“Gobernar es educar”

Pedro Aguirre Cerda, 1939

DEDICATORIA

*Le dedico esta tesis a mi madre y hermana
por todo el amor que me han entregado.*

AGRADECIMIENTOS

A mi madre por educarme con amor y paciencia, por apoyarme en este camino académico y estar siempre conmigo.

A los profesores de pregrado y postgrado que me han compartido todo su conocimiento y sabiduría.

A mis directores de tesis Luis Puente y Cielo Char por guiarme y apoyarme en la creación de esta tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA-----	iv
AGRADECIMIENTOS -----	v
ÍNDICE DE CONTENIDO -----	vi
ÍNDICE DE TABLAS -----	ix
ÍNDICE DE FIGURAS-----	xi
RESUMEN -----	xiii
ABSTRACT-----	xv
I. INTRODUCCIÓN -----	1
I.1. Cúrcuma (<i>Curcuma longa</i>) -----	1
I.1.1. Descripción de la cúrcuma (<i>Curcuma longa</i>)-----	1
I.1.2. Aspecto sociocultural -----	3
I.1.3. Mercado-----	3
I.1.4. Composición fitoquímica y nutricional-----	6
I.1.5. Curcuminoides-curcumina -----	9
I.1.6. No curcuminoides -----	11
I.2. Tecnologías utilizadas para procesar alimentos -----	13

I.2.1. Deshidratación	13
I.2.2. Extracción	15
I.2.3 Encapsulación	16
I.2.4 Ultrasonido-Microondas	17
I.3. Propiedades funcionales de los alimentos	18
I.4. Aspectos microbiológicos	19
I.4.1. Microorganismos de interés en la industria de alimentos	19
I.4.2. Estudio de la capacidad antimicrobiana	21
II. APOORTE DE CONOCIMIENTO	24
III. OBJETIVOS	25
III.1. Objetivo general	25
III.2 Objetivos específicos	25
IV. METODOLOGÍA	26
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
V.1. Procesamiento de la cúrcuma	28
V.1.1. Deshidratación de cúrcuma	36
V.1.2. Extracción de oleorresina de cúrcuma	47
V.1.3. Extracción de aceite de cúrcuma	49
V.1.4 Extracción de curcuminoides-curcumina	51

V.2. Propiedades funcionales de la cúrcuma -----	54
V.2.2. Curcuminoides-curcumina -----	55
V.2.3. No curcuminoides -----	62
V.3. Capacidad antimicrobiana de la cúrcuma-----	64
V.3.1. Concentración mínima inhibitoria (CMI) -----	64
V.3.2. Halo de inhibición en agar -----	65
V.3.3. Efecto antimicrobiano en alimentos -----	69
V.4. Utilidad de la cúrcuma en la producción y formulación de alimentos -----	74
V.4.1. Efecto de la incorporación de cúrcuma sobre la oxidación en alimentos -----	76
V.4.2. Comercialización en Chile de productos alimenticios con cúrcuma o curcumina -----	79
VI. CONCLUSIONES -----	81
VII. BIBLIOGRAFÍA -----	85
VIII. ANEXOS -----	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Precio y formato de la cúrcuma comercializada en Chile.....	5
Tabla 2: Macronutrientes presentes en la cúrcuma (<i>Curcuma longa</i>) según 4 referencias	7
Tabla 3: Contenido de vitaminas presentes en la cúrcuma (<i>Curcuma longa</i>) según 3 referencias	7
Tabla 4: Contenido de minerales presentes en la cúrcuma (<i>Curcuma longa</i>) según 4 referencias	8
Tabla 5: Compuestos no curcuminoides presentes en la cúrcuma.....	12
Tabla 6: Comparación entre métodos de secado.....	14
Tabla 7: Solventes utilizados en alimentos para procesos de extracción.....	15
Tabla 8: Numero de referencias consultadas según sección de resultados y discusión ..	27
Tabla 9: Principales productos derivados de la cúrcuma	31
Tabla 10: Productos alternativos obtenidos a partir de la cúrcuma.....	34
Tabla 11: Optimización de procesos de secado	38
Tabla 12: Métodos de secado cúrcuma	40
Tabla 13: Difusividad de diversos métodos y condiciones de secado	42
Tabla 14: Métodos de extracción de oleorresina.....	48

Tabla 15: Métodos de extracción de aceite de cúrcuma.....	50
Tabla 16: Métodos de extracción de curcuminoides.....	52
Tabla 17: Estudios del efecto de la curcumina sobre el cáncer.....	57
Tabla 18: Estudios sobre el efecto de la curcumina en la diabetes y el metabolismo.....	60
Tabla 19: Actividad biológica de compuestos no curcuminoides.....	63
Tabla 20: Concentración mínima inhibitoria (CMI) de extractos de cúrcuma	65
Tabla 21: Estudios sobre la capacidad antimicrobiana de la cúrcuma.....	66
Tabla 22: Utilización de la cúrcuma en la producción y formulación de alimentos.....	75
Tabla 23: Alimentos con cúrcuma o curcumina comercializados en Chile	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Aspecto de la cúrcuma (<i>Curcuma longa</i>).....	2
Figura 2: Importación de cúrcuma de la unión europea entre 2014 y 2018	4
Figura 3: Estructura química de los curcuminoides.....	10
Figura 4: Proporción en el contenido de curcuminoides en la cúrcuma	11
Figura 5: Método de difusión en disco.....	22
Figura 6: Numero de referencias por año de publicación	27
Figura 7: Fuente de información.....	27
Figura 8: Diagrama general del procesamiento de la cúrcuma	29
Figura 9: Principales productos de la cúrcuma	30
Figura 10: Micropartículas de extracto de cúrcuma	33
Figura 11: Curvas experimentales de secado de cúrcuma mediante convección	43
Figura 12: Curvas experimentales de secado de cúrcuma mediante energía solar	43
Figura 13: Combinación en el tiempo de secado por convección seguido por microondas que permite obtener cúrcuma bajo el estándar de la farmacopea tailandesa de hierbas ..	44
Figura 14: Cambio de color (ΔE) según método de secado.....	46
Figura 15: Microscopia electronica de la cúrcuma antes y despues de la extracción de curcuminoides	53

Figura 16: Efecto de la cúrcuma sobre la inactivación bacteriana en películas comestibles	69
Figura 17: Efecto antimicrobiano de la cúrcuma en alimentos	72
Figura 18: Efecto de la cúrcuma sobre el índice de peróxidos	77
Figura 19: Efecto de la cúrcuma sobre el TBA	78

RESUMEN

“Cúrcuma (*Curcuma longa*): Una revisión bibliográfica del procesamiento, propiedades funcionales y capacidad antimicrobiana”

La cúrcuma es una planta herbácea perenne, cuyo origen radica en la zona sur de Asia y algunas áreas de África. Esta planta posee una gran utilidad en diversos sectores, tales como, medicina, cosmética, gastronomía y procesamiento industrial de alimentos. Debido a lo anterior, esta especia ha tenido un potente impacto sociocultural en la vida de las personas, por lo que la demanda de este producto ha ido en aumento con el pasar de los años.

El objetivo de este trabajo fue analizar el procesamiento, propiedades funcionales y capacidad antimicrobiana de la cúrcuma, mediante una revisión bibliográfica. Respecto al aporte de conocimiento, esta Tesis bibliográfica aporta información sintetizada sobre los potenciales beneficios a la salud que otorga el consumo de la cúrcuma y la forma en que esta es procesada, además, entrega información útil a la industria e investigadores sobre los estudios que se han realizado en cuanto al procesamiento, generando un marco teórico.

La mayor parte de la cúrcuma es procesada (rizoma) para obtener cúrcuma en polvo, la cual es utilizada como especia en la gastronomía, no obstante, a partir de la cúrcuma se pueden obtener diversos productos con un gran potencial en el mercado, tales como, oleoresina y curcuminoides. En cuanto a los métodos de secado de cúrcuma, tanto la liofilización como las microondas son tecnologías que provocan una menor degradación de la curcumina respecto al secado solar; además, las microondas permiten deshidratar en un menor tiempo de procesamiento.

Existen diversos métodos de extracción de curcuminoides, entre los cuales sobresale la utilización de un líquido iónico (solvente) combinado con ultrasonido o microondas, tecnologías que permiten reducir el tiempo de procesamiento y aumentar el rendimiento, en comparación con la extracción soxhlet. Se han realizado investigaciones sobre el procesamiento de la cúrcuma, con el fin de utilizar las partes de descarte y obtener productos innovadores, destacando la obtención de películas comestibles biodegradables a partir del residuo generado luego de la extracción de curcuminoides.

La cúrcuma posee diversos compuestos con actividad biológica, tales como, curcumina (principal curcuminoide), Ar-turmerona y furanodieno. Estos compuestos le otorgan diversas propiedades funcionales a la cúrcuma, destacando la capacidad anticancerígena y actividad antiinflamatoria, por lo que el consumo de este alimento otorga potenciales beneficios a la salud humana. Los compuestos con actividad biológica no solo le confieren propiedades funcionales (beneficios para la salud humana) a la cúrcuma, sino que también le otorgan capacidad antimicrobiana, la cual permite extender la vida útil de productos alimenticios desde el punto de vista microbiológico.

Respecto a la utilidad y aprovechamiento de la cúrcuma en el ámbito alimentario sobresale su utilización como colorante (amarillo-anaranjado), no obstante, variados estudios han evidenciado su efectividad como antioxidante natural en productos como galletas y salchichas, siendo una buena alternativa para reemplazar antioxidantes sintéticos como el BHA.

ABSTRACT

“Turmeric (*Curcuma longa*): A bibliographic review of the processing, functional properties and antimicrobial capacity”

Turmeric is a perennial herbaceous plant, which origin lies in south Asia and some areas of Africa. This plant possesses great utility in many sectors, like medicine, gastronomy, cosmetic, and industrial food processing. Due to the above, this spice has had an important sociocultural influence on people's lives, hence, the demand for this product has been increasing over the years.

This work aims to analyze the processing, functional properties, and antimicrobial activity of turmeric, through a bibliographic review. Concerning the contribution of knowledge, this bibliographic thesis provides processed and systematized information about the potential health benefits of turmeric consumption, and how is processed, besides, it provides useful information for industry and researchers about studies of turmeric processing, creating a theoretical framework.

Turmeric is mostly processed (rhizome) to produce turmeric powder, which is used as a spice in gastronomy, nevertheless, several products with an important market value can be produced, such as oleoresin and curcuminoids. Regarding turmeric drying methods, both freeze-drying and microwaves cause less curcumin degradation, in comparison to solar drying; moreover, microwaves require less processing time.

There are various curcuminoids extraction methods, standing out the utilization of an ionic liquid (solvent) assisted by ultrasound or microwaves, technologies that reduce the extraction time and increase the yield, in comparison to soxhlet extraction. Investigations have been developed about processing to use turmeric discarded parts, sticking out the production of an edible film from turmeric residue generated after curcuminoids extraction.

Turmeric contains several compounds with biological activity, such as curcumin (mainly curcuminoid), ar-turmerone, and furanodiene. These compounds grant many functional properties to turmeric, standing out anti-cancer and anti-inflammatory activity. Hence, the consumption of this food gives potential benefits to human health. The compounds with biological activity not only provide functional properties to turmeric (human health benefits) but also provide antimicrobial activity, extending the shelf life of products.

Regarding the usefulness of turmeric in the food industry, this plant (rhizome) is used mostly as a colorant (yellow-orange); however, several studies have proven its effectiveness as a natural antioxidant in products like cookies and sausages, being a good alternative to substitute synthetic antioxidants as BHA.

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Cúrcuma (*Curcuma longa*)

I.1.1. Descripción de la cúrcuma (*Curcuma longa*)

El origen de la cúrcuma radica en la zona sur de Asia. Esta especia hoy en día es ampliamente cultivada en Asia y algunas áreas de África, siendo India uno de los países que más cultiva esta planta, particularmente en localidades como Punjab, West Bengal, Maharashtra, Karnataka, Tamil Nadu y Kerala (Lim, 2016). La cúrcuma es una planta herbácea perenne, que crece hasta una altura entre 50 y 100 cm. Las hojas de la cúrcuma tienen una tonalidad verdosa clara, mientras que las flores son de diversos colores (Attokaran Mathew, 2017). Respecto al rizoma, este posee un aspecto similar al rizoma del jengibre (*Zingiber officinale*), cuya diferencia radica en la tonalidad del interior, la cual en el caso de la cúrcuma corresponde a un color amarillo anaranjado (**Figura 1**).



Figura 1: Aspecto de la cúrcuma (*Curcuma longa*)

La cúrcuma crece en un clima cálido y húmedo, con precipitaciones entre 1500-2000 mm al año y temperaturas entre 18-30°C. Esta raíz es higrófila y crece en un ambiente soleado o con sombra parcial, en un suelo franco arenoso y arcilloso bien drenado en altitudes bajas por debajo de 1500 metros sobre el nivel del mar (Lim, 2016).

I.1.2. Aspecto sociocultural

La cúrcuma es conocida popularmente en la cultura asiática como la “especia dorada”, la cual posee un importante vínculo sociocultural con el sur de Asia, en particular la India, cuya relación radica en implicaciones sagradas en el hinduismo. La gente del sur de Asia ha utilizado ampliamente esta especia con fines medicinales, destacando su uso en la Ayurveda (antiguo sistema medicinal) para tratar problemas a la salud como desordenes biliares, anorexia y sinusitis (Reddi, 2013).

I.1.3. Mercado

El mercado global de las especias está conformado por una mezcla de sectores y aplicaciones. Entre las formas de aprovechamiento de las especias se encuentra la gastronomía, industria de alimentos, farmacología y la cosmética. Se estima que el mercado global de las especias como uso culinario superó los 6,5 mil millones de dólares en el año 2018, observándose un crecimiento sostenido en la demanda de especias como la cúrcuma (Gordon, 2020), cuya proyección del mercado global para el 2022 corresponde a 94,3 millones de dólares (Patra et al., 2018).

India es el principal productor de cúrcuma en el mundo, produciendo en 2018 un total de 893.242 toneladas. Además de India destacan países de Asia y África, tales como, China, Nigeria y Nepal. La producción de cúrcuma en el continente americano es menor en comparación con Asia y África, siendo Perú y Brasil los principales productores en América del sur (Sierra y Selva Exportadora, 2020).

En el mercado europeo la cúrcuma es comercializada como grado alimentario (venta como especia) o grado farmacéutico (venta como suplemento), siendo la primera la forma más común de comercialización. En 2018, el Reino Unido fue el mayor importador de cúrcuma en Europa (7200 toneladas), seguido por Alemania (4500 toneladas) y Holanda (3800 toneladas) (Centre for the Promotion of Imports from developing countries, 2020). En la **Figura 2** se puede observar el crecimiento en las importaciones de cúrcuma en Europa entre 2014 y 2018, evidenciando la importancia económica que tiene la cúrcuma.

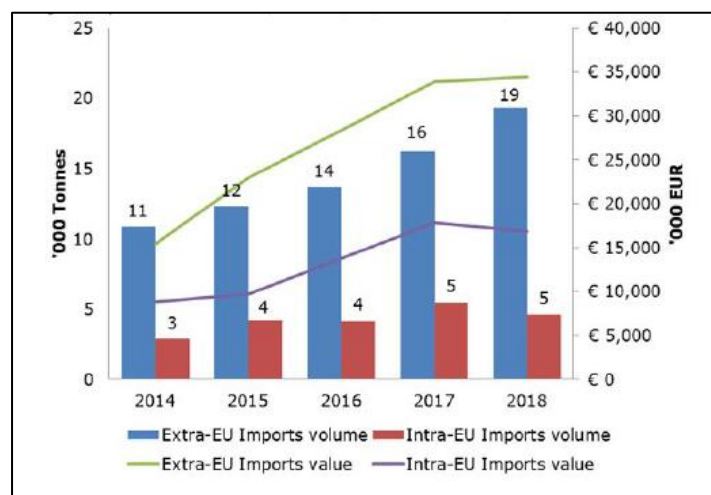


Figura 2: Importación de cúrcuma de la unión europea entre 2014 y 2018 (Centre for the Promotion of Imports from developing countries, 2020)

La **Tabla 1** expone el precio de venta de cuatro productos de cúrcuma comercializados en Chile. La cúrcuma deshidratada en polvo usada como especia es el producto más económico, cuyo formato de venta en supermercados como Líder o Jumbo corresponde a 16 o 100g, no obstante, esta también es comercializada como cápsulas (consumo directo) en tiendas naturistas o farmacias a un precio mayor. Además de lo anterior, en Chile se comercializa el aceite y extracto de cúrcuma.

Tabla 1: Precio y formato de la cúrcuma comercializada en Chile

Producto	Formato	Precio (CLP)	Oferente
Aceite	5 ml	\$6.400	Caléndula
Deshidratada en capsulas	60 capsulas de 500 mg	\$6.990	Pronamed
		\$9.990	Cruz Verde
Deshidratada en polvo	16g	\$569	Jumbo
	100g	\$1.849	
	16g	\$560	
	100g	\$1.650	Lider
Extracto	30 capsulas de 420 mg	\$15.000	Knop

* Consulta de precios realizada en internet el 10/11/2020

I.1.4. Composición fitoquímica y nutricional

Dentro de los compuestos fitoquímicos presentes en la cúrcuma destacan los curcuminoides, los cuales corresponden a compuestos formados por dos anillos aromáticos unidos por una cadena alifática. Además de lo anterior se puede mencionar la presencia de terpenoides (componente principal del aceite), flavonoides, ácidos orgánicos y fenoles (Meng et al., 2018).

En la **Tabla 2** se puede observar el contenido de macronutrientes presentes en la cúrcuma (*Curcuma longa*) según cuatro fuentes de información estudiadas. El macronutriente que se encuentra en mayor proporción corresponde a los carbohidratos, representando entre un 67,14 y 69,9% de la cúrcuma en polvo, no obstante, solo entre un 3 y 3,21% son azúcares, evidenciando un contenido importante de carbohidratos complejos. La energía varía entre 312 y 390 Kcal según la referencia, mientras que el contenido de proteínas y lípidos oscila entre 8 – 9,68g y 3,5 - 10g, respectivamente (Ikpeama et al., 2014; Lim, 2016; Prasad & Aggarwal, 2011; Sasikumar, 2012).

Tabla 2: Macronutrientes presentes en la cúrcuma (*Curcuma longa*) según 4 referencias

Macronutriente	100g cúrcuma en polvo			
Energía (Kcal)	312	*	390	390
Proteína (g)	9,68	9,4	8,5	8
Lípidos (g)	3,25	6,85	8,9	10
Carbohidratos (g)	67,14	67,38	69,9	69,9
Azúcares totales (g)	3,21	*	*	3
Fibra total (g)	22,7	4,6	*	21
Fuente	(Lim, 2016)	(Ikpeama et al., 2014)	(Sasikumar, 2012)	(Prasad & Aggarwal, 2011)

* Dato no indicado en el estudio

El contenido de vitaminas de acuerdo a tres fuentes analizadas se puede apreciar en la **Tabla 3**, siendo la vitamina E la que se encuentra en mayor proporción, con un contenido de 4,43 mg cada 100 g de cúrcuma en polvo según la única referencia encontrada (Lim, 2016). Además de la colina total se encuentran vitaminas, tales como, la vitamina A (370 IU), C (0,7mg) y niacina (1,35-4,8 mg) (Lim, 2016; Prasad & Aggarwal, 2011; Sasikumar, 2012).

Tabla 3: Vitaminas presentes en la cúrcuma (*Curcuma longa*) según 3 referencias

Vitamina	100g cúrcuma en polvo		
Niacina (mg)	1,35	4,8	4,8
Riboflavina (mg)	0,23	0,19	0,19
Tiamina (mg)	0,058	0,09	0,9
Vitamina A (IU)	370	*	*
Vitamina C (mg)	0,7	*	*
Vitamina E (mg)	4,43	*	*
Vitamina K (ug)	13,4	*	*
Fuente	(Lim, 2016)	(Sasikumar, 2012)	(Prasad & Aggarwal, 2011)

*Dato no indicado en el estudio

En la **Tabla 4** se expone el contenido de minerales (en 100 g de cúrcuma en polvo) según cuatro referencias estudiadas. El potasio es el mineral que se encuentra en mayor cuantía, con un contenido entre 460 y 2500 mg cada 100 gramos de cúrcuma seca. Además del potasio, la cúrcuma posee minerales como el fosforo (260-630 mg), calcio (168-210 mg) y magnesio (208 mg) (Ikpeama et al., 2014; Lim, 2016; Prasad & Aggarwal, 2011; Sasikumar, 2012).

Tabla 4: Minerales presentes en la cúrcuma (*Curcuma longa*) según 4 referencias

Mineral	100g cúrcuma en polvo			
Calcio (mg)	168	210	200	200
Cobre(mg)	1,3	*	*	*
Fosforo (mg)	299	630	260	260
Hierro (mg)	55	45	47,5	47,5
Magnesio (mg)	208	*	*	*
Manganeso (mg)	19,8	*	*	*
Potasio (mg)	2080	460	2000	2500
Selenio (ug)	6,2	*	*	*
Sodio (mg)	27	*	30	10
Zinc (mg)	4,5	*	*	*
Fuente	(Lim, 2016)	(Ikpeama et al., 2014)	(Sasikumar, 2012)	(Prasad & Aggarwal, 2011)

* Dato no indicado en el estudio

I.1.5. Curcuminoides-curcumina

Los curcuminoides corresponden a un grupo de compuestos fenólicos presentes en la cúrcuma, cuyo compuesto principal es la curcumina. Además de la curcumina se encuentran presentes en la cúrcuma otros dos tipos de curcuminoides, llamados demetoxicurcumina y bisdemetoxicurcumina (Jayaprakasha et al., 2005).

La curcumina es un compuesto fenólico que posee dos anillos aromáticos unidos por una cadena alifática (**Figura 3**), se diferencia de los otros dos curcuminoides por la presencia de dos grupos orto-metoxi (la demetoxicurcumina posee un grupo orto-metoxi, mientras que la bisdemetoxicurcumina no posee este grupo funcional), su fórmula química es $C_{21}H_{20}O_6$ con un peso molecular de 368,91 g/mol y tiene una temperatura de fusión correspondiente a 183°C (Gantait et al., 2011). Este compuesto es insoluble en agua y solventes orgánicos apolares (hexano, heptano, etc.); sin embargo, es soluble en solventes orgánicos polares, tales como, metanol, etanol, DMSO, acetona entre otros (Priyadarsini, 2014).

La curcumina es estable a temperatura ambiente (25°C) cuando se encuentra protegida de la luz solar (radiación UV). Cuando la curcumina es expuesta a la luz solar se degrada en compuestos como ácido ferúlico y ácido vanílico (Mahran et al., 2017). Respecto a la estabilidad térmica se ha demostrado que un proceso térmico a 90°C durante 6 horas degrada alrededor del 20% del color otorgado por la curcumina (Giménez et al., 2015).

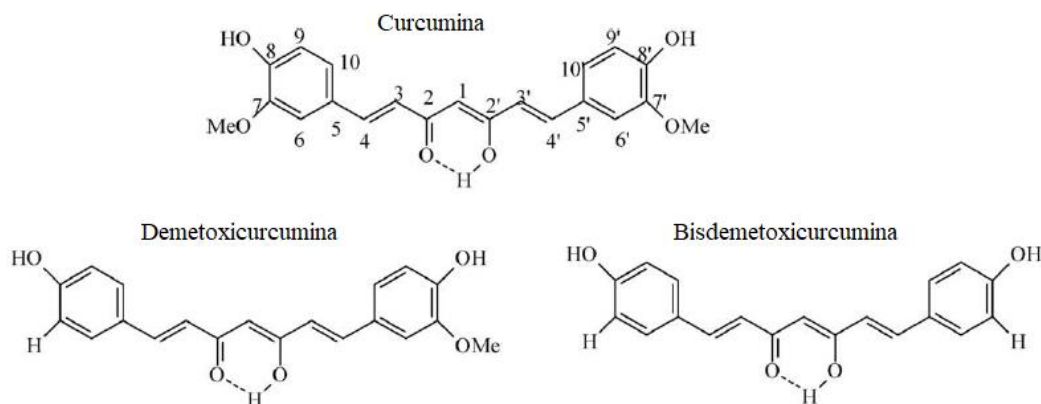


Figura 3: Estructura química de los curcuminoides

En la **Figura 4** se puede observar la proporción general del contenido de curcuminoides en la cúrcuma, la cual consiste en un 80-85% de curcumina, 10-15% de demetoxicurcumina y un 5% de bisdemetoxicurcumina (Attokaran Mathew, 2017). La curcumina se descubrió por primera vez en cúrcuma (*Curcuma longa*) hace dos siglos aproximadamente y se encuentra en la cúrcuma entre un 2 y un 9% del peso de esta (Padmanaban & Nagaraj, 2018; Stanić, 2017).

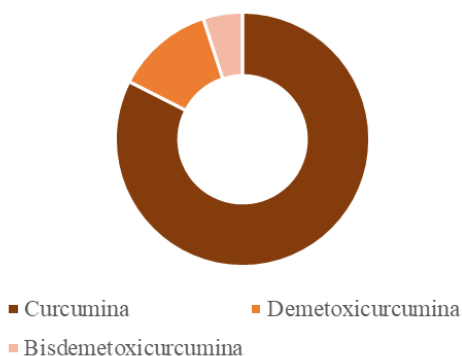
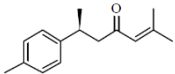
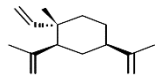
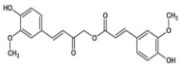
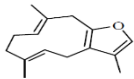


Figura 4: Proporción en el contenido de curcuminoides en la cúrcuma

I.1.6. No curcuminoides

Se han detectado o aislado más de 150 terpenoides (compuestos lipofílicos) a partir de las flores, hojas o rizomas de cúrcuma, incluyendo monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos y triterpenos, los cuales tienen variadas propiedades funcionales (Afzal et al., 2013; Li et al., 2011). En la **Tabla 5** se pueden observar algunos compuestos bioactivos no curcuminoides (Ar turmerona, β elemene, calebina A y furanodieno) presentes en la cúrcuma, los cuales son insolubles en agua.

Tabla 5: Compuestos no curcuminoides presentes en la cúrcuma (Nair et al., 2019)

Compuesto	Estructura	Formula química	Peso molecular (g/mol)	Características
Ar-turmerona		C ₁₅ H ₂₀ O	216	Punto de fusión: 122°C Solubilidad: Hexano, éter de petróleo, etanol
β-elemene		C ₁₅ H ₂₄	204	Punto de fusión: 98°C Solubilidad: Alcohol
Calebina A		C ₂₁ H ₂₀ O ₇	384	Punto de fusión: 208°C Solubilidad: prácticamente insoluble en agua
Furanodieno		C ₁₅ H ₂₀ O	216	Punto de fusión: 137°C Solubilidad: parcialmente soluble en agua

I.2. Tecnologías utilizadas para procesar alimentos

I.2.1. Deshidratación

La deshidratación es uno de los métodos más importantes de preservación de alimentos, mediante este método se obtienen productos con menor peso y densidad bulk, lo que reduce los costos de almacenamiento y distribución, además se extiende el tiempo de vida útil al reducir la actividad de agua del alimento. En la actualidad se comercializan productos deshidratados tales como cúrcuma en polvo, sopas instantáneas, y especias e ingredientes usados como materia prima (Toledo et al., 2018). Existen diversos métodos de secado de alimentos, tales como, solar, vacío, convección, microondas y combinaciones de estos. En la **Tabla 6** se pueden observar aspectos característicos de diferentes métodos de secado.

Tabla 6: Comparación entre métodos de secado

Método	Ventajas	Desventajas
Secado solar	Aprovechamiento de una energía renovable (sol), bajo costo de procesamiento	Requiere extensos tiempos de procesamiento, posible degradación de compuestos bioactivos
Secado por convección	No requiere equipos avanzados y costosos	Posible degradación de compuestos bioactivos
Secado por vacío	Menor impacto sobre compuestos bioactivos, productos de una mayor calidad organoléptica	Equipos más sofisticados y costosos
Secado asistido por microondas	Menor tiempo de procesamiento	Equipos más sofisticados y costosos

I.2.2. Extracción

La extracción es un proceso de separación en el cual se encuentran involucradas dos fases, siendo estas, el solvente y el alimento que contiene el compuesto o materia a extraer. La extracción se ha utilizado ampliamente en la industria de aceites, utilizándose como fuentes de extracción vegetales como el girasol y la soya (Toledo et al., 2018). Dentro de los métodos de extracción convencionales se encuentra la extracción Soxhlet y la extracción liquido-liquido, mientras que entre los métodos emergentes se puede mencionar técnicas como la extracción con CO₂ supercrítico, agua subcrítica y el uso de tecnologías como el ultrasonido y microondas (Mottahedin et al., 2017). En la **Tabla 7** se expone información sobre solventes utilizados para extraer compuestos de los alimentos.

Tabla 7: Solventes utilizados en alimentos para procesos de extracción (Fellows, 2000)

Solvente	Alimento	Producto
CO ₂ supercrítico, agua, acetona	Granos de café	Café descafeinado
Agua	Remolacha	Azúcar
Hexano, heptano, ciclohexano	Soya, semilla de girasol	Aceite

I.2.3 Encapsulación

La encapsulación se puede definir como un proceso en el cual se genera una película que cubre pequeñas partículas (sólidas, líquidas o gaseosas), con la finalidad de proteger a estas de condiciones ambientales adversas, tales como luz ultravioleta, humedad o la presencia de oxígeno. Este proceso permite estabilizar los alimentos producidos, reduciendo la degradación de sus compuestos bioactivos e incrementando su vida útil (Zuanon et al., 2013).

En cuanto al tamaño de las partículas, la encapsulación se clasifica en microencapsulación (100-1000nm) o nanoencapsulación (1-100nm). Existen diversas técnicas para realizar la encapsulación, las cuales se pueden dividir en métodos físicos y químicos. Entre los métodos físicos se puede mencionar la extrusión y el secado por aspersión, mientras que dentro de los métodos químicos se encuentra la coacervación y evaporación con solvente (Sobel et al., 2014).

I.2.4 Ultrasonido-Microondas

Las microondas son ondas electromagnéticas con una frecuencia entre 300 MHz y 300 GHz, estas se encuentran entre las ondas de radio y el espectro infrarrojo (Altan & Maskan, 2005). La aplicación de la tecnología de microondas en el procesamiento de alimentos ha concentrado la atención en los últimos años, utilizándose en procesos de secado, precocción de carnes, pasteurización, entre otros. Además de lo anterior se ha estudiado la incorporación de las microondas en procesos de extracción de compuestos bioactivos, evidenciando ventajas como menor tiempo de proceso y mayor rendimiento con respecto a la extracción convencional (Orsat et al., 2017).

El ultrasonido corresponde a ondas mecánicas con una frecuencia entre 20 KHz y 1MHz, las cuales tienen la propiedad de difundir en un medio elástico como los líquidos. La tecnología de ultrasonido utilizada como pretratamiento de secado tiene el potencial de disminuir el tiempo de procesamiento, por lo que ha atraído la atención de diversos estudios (Huang et al., 2020). Además del uso del ultrasonido en procesos de secado, se ha analizado la incorporación de esta tecnología en procesos de extracción, los cuales demuestran que el ultrasonido mejora los rendimientos y reduce la emisión de CO₂ (Khadhraoui et al., 2019).

I.3. Propiedades funcionales de los alimentos

Un alimento es una mezcla de químicos y nutrientes, los cuales pueden ser separados en diferentes componentes que le aportan al organismo energía y poseen variadas funciones, tales como, reparación de células y tejidos, regulación de procesos y protección frente a enfermedades, siendo los nutrientes y los metabolitos secundarios los compuestos principales presentes en un alimento. Los nutrientes son los componentes mayoritarios en los alimentos, los cuales se dividen en macronutrientes (proteínas, carbohidratos, etc.) y micronutrientes (minerales, vitaminas, etc.), mientras que los metabolitos secundarios corresponden a compuestos bioactivos o fitoquímicos (polifenoles, terpenoides, etc.) que tienen el potencial de otorgar beneficios a la salud humana. Los metabolitos secundarios tienen la capacidad de influir positivamente sobre la salud mediante la regulación de procesos metabólicos o la prevención y tratamiento de enfermedades (Abuajah, 2019).

I.4. Aspectos microbiológicos

I.4.1. Microorganismos de interés en la industria de alimentos

En los alimentos se pueden encontrar bacterias, virus, hongos y levaduras. Algunos de estos microorganismos son beneficios para la salud humana y/o poseen una utilidad tecnológica (producción de cerveza, yogur, etc.), sin embargo, existen microorganismos que deterioran las características organolépticas de los productos alimenticios, causando pérdidas económicas debido a las mermas. Además de lo anterior existen microorganismos patógenos, los cuales ocasionan un daño a la salud humana, siendo ejemplos de estos microorganismos la *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli* O157:H7 (Bhunias, 2008; Erkmen & Bozoglu, 2016).

***Escherichia coli*:** La mayor parte de las cepas de *E. coli* son inofensivas para la salud humana, las cuales son comensales del tracto intestinal del ser humano y animales. Un pequeño porcentaje de cepas de *E. coli* son consideradas patogénicas, sin embargo, el reciente surgimiento de *E. coli* enterohemorrágica, un subconjunto altamente virulento de *E. coli* productoras de toxina Shiga, sugiere un posible aumento de la transferencia horizontal o vertical de genes patógenos entre especies bacterianas (Bhunias, 2018).

Salmonella spp.: Corresponde a un grupo de bacterias Gram negativas que pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*, que son capaces de infectar numerosos huéspedes y causar enfermedades en humanos y animales (Oyarzabal & Backert, 2012). Estas bacterias patógenas son responsables de aproximadamente 94 millones de casos de gastroenteritis cada año en el mundo, siendo la *Salmonella enteritidis* y *Salmonella typhimurium* las más comunes (International Commission on Microbiological Specifications for Foods, 2018).

Listeria monocytogenes: Es un microorganismo patógeno Gram positivo que está ampliamente distribuido en la naturaleza y puede ser encontrado en casi todos los alimentos. Esta bacteria patógena tiene la capacidad de crecer en ambientes con baja temperatura y sobrevivir por un largo periodo de tiempo en superficies utilizadas para el procesamiento de alimentos. A pesar de que la intoxicación alimentaria por listeriosis es infrecuente, alrededor de un 30% de los casos son fatales (International Commission on Microbiological Specifications for Foods, 2018).

I.4.2. Estudio de la capacidad antimicrobiana

Diversos métodos pueden ser utilizados para evaluar la capacidad antimicrobiana de un extracto o compuesto puro *in vitro*, siendo los métodos más utilizados, la difusión en disco y la dilución en agar o caldo de cultivo (Balouiri et al., 2016).

I.4.2.1. Difusión en disco:

La metodología correspondiente a la difusión en disco está basada en el método originalmente descrito por Kirby-Bauer y es respaldado por datos de laboratorios y clínicas, debido a que sus resultados son altamente reproducibles. Esta técnica está fundamentada en la relación existente entre la concentración del extracto o compuesto necesaria para inhibir una cepa bacteriana y el halo de inhibición de la proliferación en la superficie de una placa de agar con un adecuado medio de cultivo, el cual contiene la bacteria a estudiar (Ramirez & Castaño, 2009). En este método de evaluación, las placas de agar son inoculadas con la bacteria a evaluar, posteriormente discos de papel filtro (aproximadamente 6 mm de diámetro) que contienen el compuesto o extracto a estudiar a una concentración conocida son dispuestos en la superficie del agar. Las placas Petri son incubadas en condiciones apropiadas. Generalmente el agente antimicrobiano difunde en el agar e inhibe el crecimiento del microorganismo inoculado, siendo posible medir el diámetro de inhibición de crecimiento (**Figura 5**) (Balouiri et al., 2016).

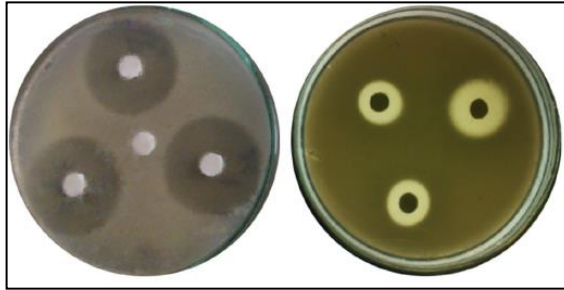


Figura 5: Método de difusión en disco (Balouiri et al., 2016)

I.4.2.2. Métodos basados en la dilución

La técnica basada en la dilución puede ser realizada en agar o caldo de cultivo. Este método es utilizado para determinar la concentración mínima inhibitoria (CMI) y la concentración mínima bactericida (CMB). La CMI corresponde a la concentración más baja del agente antimicrobiano estudiado que puede inhibir el crecimiento visible de un microorganismo luego de ser incubado por 24 horas, mientras que la CMB se refiere a la concentración más baja del agente que previene el crecimiento de la bacteria después de cultivar ésta en un medio libre del compuesto con actividad antibacteriana (Ramírez & Castaño, 2009).

Dilución en caldo de cultivo: La dilución en caldo de cultivo es uno de los métodos más simples para evaluar la actividad antimicrobiana de un compuesto, este procedimiento involucra la preparación de diluciones del agente antimicrobiano en un caldo de cultivo dispuesto en tubos o microplacas. Posteriormente se inocula el microorganismo a estudiar en los tubos o microplacas, se homogeneiza y se incuba según las condiciones apropiadas de la bacteria (Balouiri et al., 2016).

Dilución en agar: El método correspondiente a la dilución en agar consiste en la incorporación de diferentes concentraciones del agente antimicrobiano en una placa Petri que contiene agar, luego se inocula el microorganismo en la superficie de la placa. Esta técnica es apropiada tanto para el estudio de la actividad antibacterial como antifúngica. Si el extracto o compuesto con capacidad antimicrobiana enmascara la detección del crecimiento microbiano en el medio de cultivo por modificar la coloración o generar turbidez, la dilución en agar es la mejor alternativa para la determinación de la concentración mínima inhibitoria (Balouiri et al., 2016).

II. APORTE DE CONOCIMIENTO

Esta Tesis bibliográfica expone una investigación en cuanto al procesamiento, propiedades funcionales y capacidad antimicrobiana de la cúrcuma. El contenido presente en esta Tesis les aporta información a los consumidores de cúrcuma sobre los potenciales beneficios a la salud que aporta el consumo de este alimento, respecto a enfermedades como el cáncer y diabetes. Además, la Tesis entrega información a la industria e investigadores sobre diversos estudios que se han realizado respecto al procesamiento (extracción, secado, productos obtenidos) y capacidad antimicrobiana de la cúrcuma, generando un marco teórico para planificar investigaciones futuras y/o desarrollo de nuevos productos saludables y metodologías de procesamiento.

III. OBJETIVOS

III.1. Objetivo general

Analizar el procesamiento, propiedades funcionales y capacidad antimicrobiana de la cúrcuma, con el fin de generar un marco teórico de referencia para la optimización de procesos y desarrollo de nuevos productos saludables.

III.2 Objetivos específicos

- Describir los productos que se pueden obtener a partir de la cúrcuma y las tecnologías utilizadas.
- Comparar de manera teórica los métodos de secado de cúrcuma, respecto al tiempo de proceso y calidad del producto.
- Evaluar teóricamente el rendimiento y condiciones de procesamiento de diferentes métodos de extracción de oleorresina, aceite y curcuminoides.
- Analizar publicaciones científicas entorno a las propiedades funcionales de la cúrcuma, asociadas a los curcuminoides y compuestos no curcuminoides.
- Sintetizar información publicada respecto a la capacidad antimicrobiana de la cúrcuma.
- Analizar la utilidad de la cúrcuma en la producción y formulación de alimentos.

IV. METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda y análisis de información sobre el procesamiento, propiedades funcionales y capacidad antimicrobiana de la cúrcuma. La recopilación de información se ejecutó mediante la búsqueda en las siguientes fuentes: ScienceDirect, Springerlink, IEEE Xplore, Researchgate, ISI-Web of science, PubMed, Google Scholar, Scopus y Crossref. Para la búsqueda de información se utilizaron las siguientes palabras claves: “turmeric”, “curcuma”, “*Curcuma longa*”, “curcumin”, y “curcumina”.

Como criterio de exclusión se descartó toda información publicada antes del año 2000, considerando solo la información de los últimos 20 años. Para la redacción de los resultados y discusión se consultaron 117 referencias, de las cuales el 90% fue publicada en los últimos 10 años (**Figura 6**). De las fuentes de información consultadas, el 75% corresponde a artículos de investigación experimental (**Figura 7**). En la **Tabla 8** se expone el número de referencias consultadas según sección de resultados y discusión de la AFE a tesis.

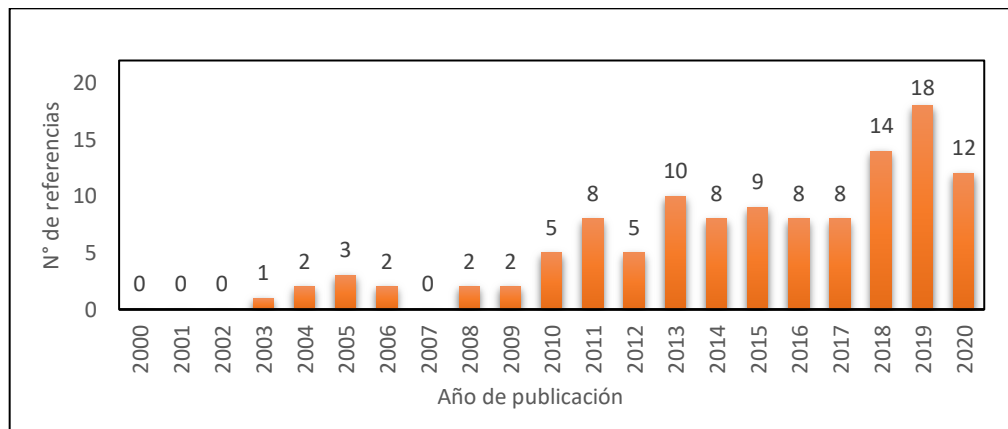


Figura 6: Numero de referencias por año de publicación (Resultados y discusión)

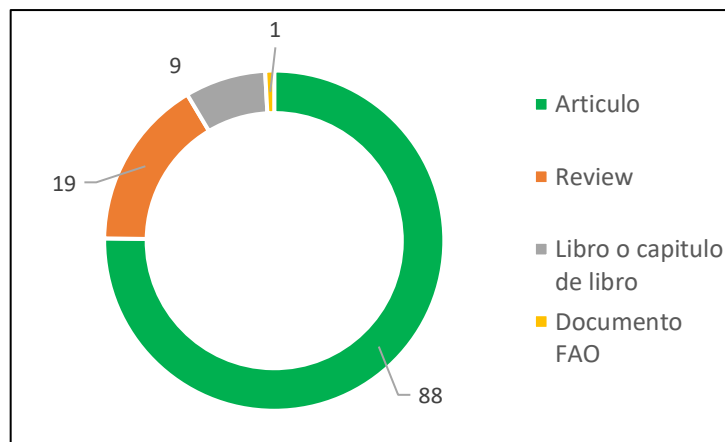


Figura 7: Fuente de información (Resultados y discusión)

Tabla 8: Numero de referencias consultadas según sección de resultados y discusión

Sección del desarrollo de la AFE a tesis	Numero de referencias consultadas
Procesamiento de la cúrcuma	57
Propiedades funcionales	37
Capacidad antimicrobiana	16
Utilidad en la producción y formulación de alimentos	16

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V.1. Procesamiento de la cúrcuma

El procesamiento general de la cúrcuma consiste en la remoción del tallo y las hojas, lavado, pretratamiento térmico (agua hirviendo), deshidratación y pulido de los rizomas (Balasubramanian et al., 2016). En la **Figura 8** se puede observar un diagrama de flujo, el cual resume diversas maneras de procesar la cúrcuma, exponiendo las partes utilizadas y los productos que se pueden obtener.

La mayor parte de la cúrcuma es comercializada como producto seco en polvo, el cual provee aroma y color a los alimentos (Aranda et al., 2020). La cúrcuma en polvo es obtenida a partir del rizoma limpio, cuyo proceso convencional consiste en un pretratamiento térmico, secado, molienda y tamizado. Además de lo anterior, el rizoma deshidratado (generalmente en polvo) puede ser procesado para obtener oleorresina, aceite de cúrcuma y curcuminoides.

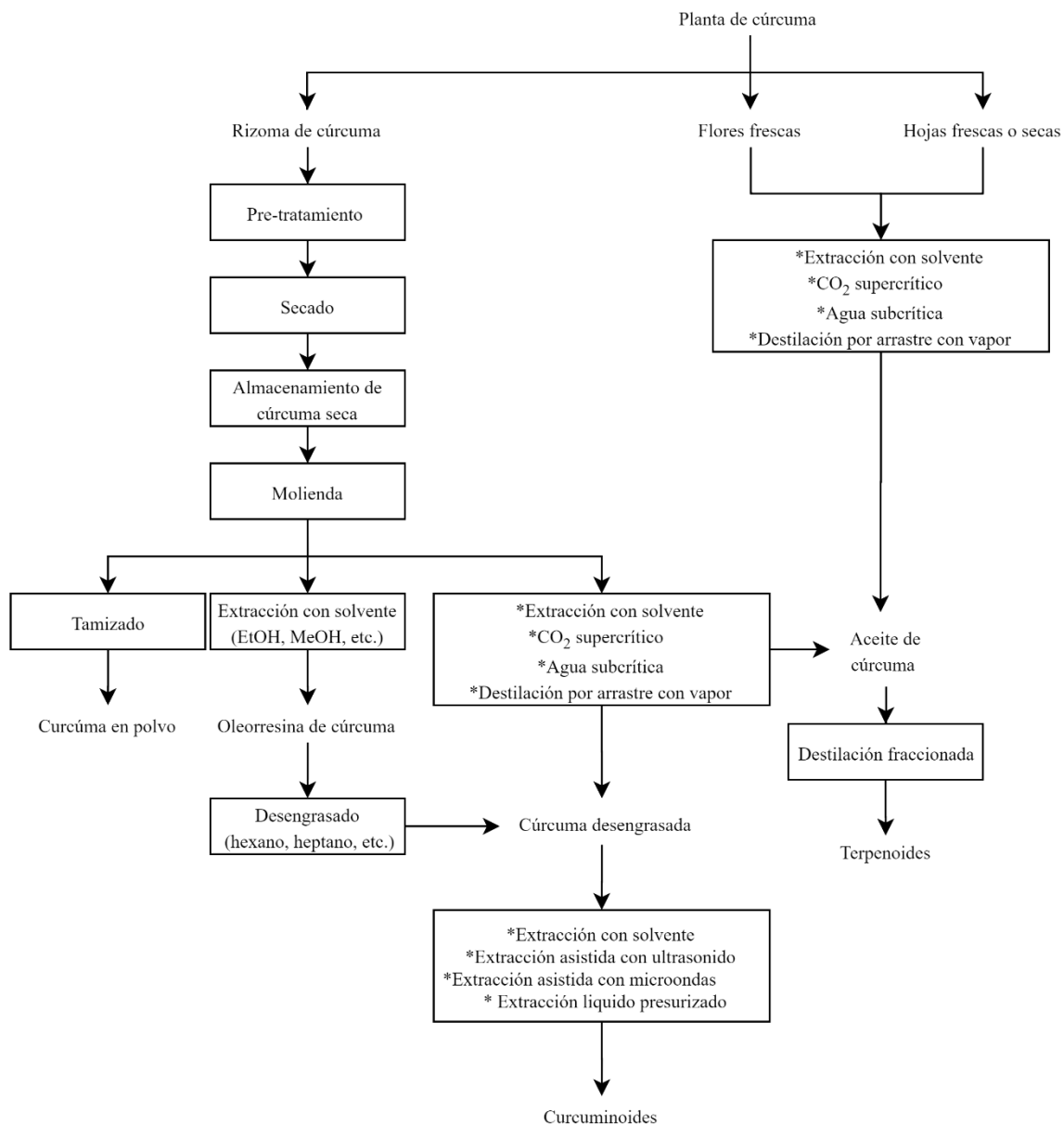


Figura 8: Diagrama general del procesamiento de la cúrcuma

Además del rizoma deshidratado en polvo, a partir de la cúrcuma se pueden obtener variados productos, tales como, oleorresina, aceite y curcuminoides (**Figura 9**). En la **Tabla 9** se resumen las características y usos principales de los productos anteriormente mencionados. Tanto el rizoma seco entero, como el rizoma deshidratado en polvo poseen un color amarillo-anaranjado, cuyo contenido de curcumina oscila entre un 2 y 9% p/p (Padmanaban & Nagaraj, 2018). El aceite de cúrcuma posee un color amarillo pardo y contiene compuestos bioactivos no curcuminoides, tales como, Ar turmerona y cumene (Mustapha et al., 2019). Respecto al perfil lipídico, el aceite de cúrcuma posee principalmente ácido oleico (56,24-58,88 % p/p), ácido mirístico (16,25-17,71% p/p) y ácido linoleico (10,9-12,82% p/p) (Paul et al., 2011).

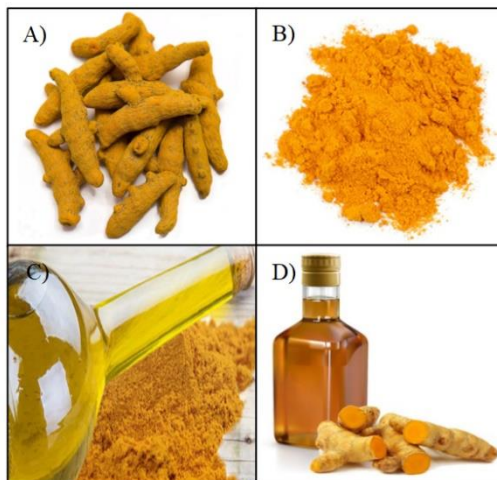


Figura 9: Principales productos de la cúrcuma
(A: rizoma entero, B: cúrcuma en polvo, C: aceite, D: oleorresina)

Tabla 9: Principales productos derivados de la cúrcuma

Producto	Proceso y tecnologías aplicadas	Composición y características físicas	Usos principales	Referencia
Rizoma deshidratado entero:	<u>Deshidratación del rizoma</u> Secado solar, convección, vacío, microondas, etc.	Color: Amarillo anaranjado Curcumina: 2-9%	Elaboración de productos derivados de la cúrcuma, uso medicinal	(FAO, 2004; Li et al., 2011; Padmanaban & Nagaraj, 2018)
Cúrcuma deshidratada en polvo:	<u>Deshidratación y molienda del rizoma</u> Secado solar, convección, vacío, microondas, etc.	Color: Amarillo-anaranjado Curcumina: 2-9%	Gastronomía, industria alimentaria (principalmente como colorante) y farmacéutica	(FAO, 2004; Li et al., 2011; Padmanaban & Nagazaj, 2018)
Aceite de cúrcuma:	<u>Extracción (cúrcuma en polvo)</u> Destilación por arrastre con vapor o extracción con CO ₂ supercrítico	Color: Amarillo-café Índice de refracción: 1,485-1,525 Insoluble en agua Turmerona: 35% Cumene: 20% Ar-turmerona: 14%	Industria farmacéutica, cosmética	(FAO, 2004; Li et al., 2011; Mustapha et al., 2019)
Oleorresina de cúrcuma	<u>Extracción (cúrcuma en polvo)</u> Extracción con solvente (Metanol, etanol, acetona, etc.)	Color: Anaranjado-rojo oscuro Índice de refracción: 1,485-1,525 Insoluble en agua Curcuminoides: 40-55% Aceite: alrededor de 15-20%	Industria alimentaria, farmacéutica, suplemento nutricional	(FAO, 2004; Li et al., 2011)
Curcuminoides-curcumina	<u>Extracción (cúrcuma en polvo)</u> Extracción con solvente (Metanol, etanol, acetona, etc.), CO ₂ supercrítico y posterior cristalización	Color: amarillo-anaranjado Peso molecular curcumina: 368 Insoluble en agua	Industria alimentaria, Industria farmacéutica,	(FAO, 2004; Li et al., 2011)

La oleorresina de cúrcuma es aprovechada por la industria de alimentos como colorante, y se obtiene mediante la extracción con solvente orgánico polar (etanol, acetona, etc.) a partir del rizoma deshidratado (Haldar et al., 2016). Los curcuminoides pueden ser extraídos de la cúrcuma en polvo mediante técnicas como líquido presurizado (Osorio-Tobón et al., 2014) y CO₂ supercrítico (Wakte et al., 2011). Además de los métodos anteriormente mencionados, los curcuminoides se pueden obtener a partir de la oleorresina, mediante la remoción de otros compuestos con éter de petróleo y una posterior filtración (Nagarajan et al., 2010).

La industria alimenticia y farmacéutica generalmente utilizan el rizoma; sin embargo, las flores y hojas de la cúrcuma al igual que el rizoma contienen aceite que puede ser extraído (Agarwal et al., 2018). Por otra parte la hoja deshidratada de la cúrcuma es una buena fuente de minerales (Mg: 1,126 g/100g; Ca: 0,9 g/100g; K: 0,64 g/100g) y fibra (34,47g/100g) (Braga et al., 2018).

El aceite de cúrcuma puede ser extraído mediante destilación (Manzan et al., 2003), no obstante, se han estudiado métodos alternativos que permiten obtener mayores rendimientos de extracción, tales como extracción con CO₂ supercrítico (Chang et al., 2006), agua subcrítica (Mottahedin et al., 2017), y la integración de extracción mediante fluido supercrítico con líquido presurizado y un proceso supercrítico anti solvente (incorporación de solvente a una solución que provoca la precipitación del soluto debido a la sobresaturación de la mezcla producida) que permite además obtener curcuminoides (Osorio-Tobón et al., 2016).

Se han estudiado diversas técnicas para procesar la cúrcuma con el fin de elaborar productos novedosos como la nanoemulsión o el hidrogel (**Tabla 10**). La nanoencapsulación es una técnica que permite la obtención de curcumina dispersa en una matriz sólida, formando partículas con dimensiones nanométricas, lo que le otorga a la curcumina una mayor capacidad antioxidante y antimicrobiana (Rafiee et al., 2019; Silva et al., 2018). Mediante el secado por atomización se puede obtener micropartículas de extractos de cúrcuma utilizando maltodextrina (Coronel-Delgado et al., 2017) o dióxido de silicio + polivinilpirrolidona (Martins et al., 2013), reportándose mejores resultados en el caso del dióxido de silicio, respecto a la retención de curcuminoides y morfología de las partículas (**Figura 10**).

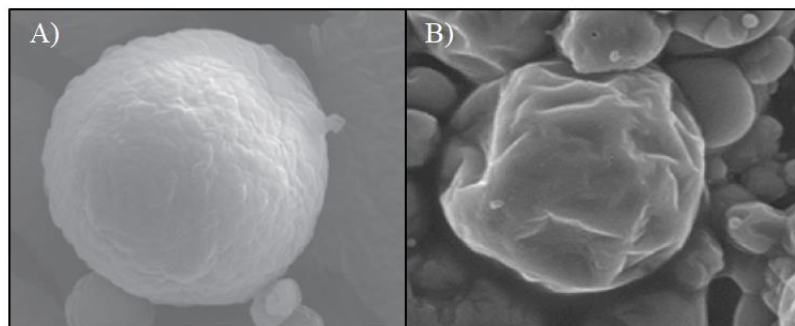


Figura 10: Micropartículas de extracto de cúrcuma
A: Dióxido de silicio + PVP, 4000x (Martins et al., 2013)
B: Maltodextrina, 1000x (Coronel-Delgado et al., 2017)

Tabla 10: Productos alternativos obtenidos a partir de la cúrcuma

Producto	Materia prima	Proceso y tecnología	Referencia
Hidrogel de cúrcuma-gelatina con capacidad antimicrobiana	Residuo de cúrcuma obtenido luego de la extracción de curcuminoides	Gelatinización	(Tosati et al., 2018)
Cúrcuma desodorizada (sin pérdida significativa del color)	Cúrcuma deshidratada en polvo (rizoma)	Desodorización: método Clevenger	(Silva et al., 2005).
Oleoresina microencapsulada	Oleoresina de cúrcuma	Encapsulación: liofilización con almidón modificado y gelatina	(Malacrida et al., 2015)
Hoja de cúrcuma deshidratada	Hojas de cúrcuma	Encapsulación: liofilización con gelatina y goma arábica	(Zuanon et al., 2013)
Nanoemulsión	Extracto de cúrcuma	Deshidratación: microondas	(Braga et al., 2018)
Aislado de almidón	Extracto de cúrcuma	Ultrasonido	(Lee et al., 2019)
Micropartículas	Rizoma de cúrcuma fresco	Extracción con oxalato de amonio	(Kuttigounder et al., 2011)
Fibra de celulosa	Extracto de cúrcuma	Secado por atomización	(Martins et al., 2013)
Probióticos	Tallo de cúrcuma	Extracción con solución alcalina	(Ilangovan et al., 2018)
Hidrolizado con pimienta (<i>Piper nigrum</i>)	Rizoma de cúrcuma fresco	Aislamiento de probióticos	(Pianpumepong & Noomhorm, 2010)
	Cúrcuma deshidratada en polvo (rizoma)	Hidrólisis enzimática	(Queiroz et al., 2018)

A partir del rizoma fresco de la cúrcuma es posible aislar probióticos, los cuales tienen el potencial de ser incorporados en bebidas. En la investigación realizada por Pianpumepong & Noomhorm (2010) se estudió la incorporación de probióticos obtenidos del rizoma fresco de cúrcuma (*Enterococcus faecium*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, y *Lactobacillus plantarum*) en una bebida de cúrcuma fermentada, obteniéndose como resultado que las bebidas con probióticos presentaron una mayor actividad antioxidante en comparación con las muestras control (sin incorporación de probióticos).

En relación con el aprovechamiento de subproductos de la cúrcuma, se ha estudiado el procesamiento de las hojas y el tallo. Las hojas deshidratadas de cúrcuma poseen un considerable contenido de minerales y un bajo contenido de nitratos (compuesto anti nutricional), por lo que representan una potencial materia prima para elaborar suplementos alimenticios o ingredientes para fortificar alimentos (Braga et al., 2018). En cuanto al tallo de la cúrcuma, este puede ser procesado para obtener fibras de celulosa, las cuales tienen el potencial de ser utilizadas para elaborar películas y envases para productos alimenticios (Ilangovan et al., 2018).

V.1.1. Deshidratación de cúrcuma

La deshidratación tiene como objetivo reducir la humedad de la cúrcuma hasta valores entre 5 y 10% en base húmeda (FAO, 2004). El secado solar es uno de los métodos de secado más utilizados, debido a que es amigable con el medio ambiente y no es costoso, sin embargo, este no permite obtener productos de una calidad óptima y conlleva una gran cantidad de tiempo (Borah et al., 2015). Además del secado solar, el secado mediante aire caliente o convección es una tecnología ampliamente utilizada, sin embargo, presenta la desventaja de la potencial degradación de compuestos bioactivos sensibles a altas temperaturas. Debido a lo anterior se han estudiado métodos de secado alternativos, tales como, vacío o microondas.

V.1.1.1. Pretratamiento térmico

El pretratamiento de los rizomas de cúrcuma consiste en un tratamiento térmico previo al proceso de deshidratación, aplicado con el fin de gelatinizar el almidón para permitir un secado uniforme y eliminar olores indeseados (Jayashree et al., 2018). Este proceso térmico generalmente se aplica sumergiendo la cúrcuma en agua a 100°C durante una hora (FAO, 2004). Sin embargo, se ha estudiado el uso de la energía de microondas (Hmar et al., 2017) y la incorporación de una solución de bicarbonato de sodio al 0,1% (Lokhande et al., 2013), los cuales incrementan la retención de curcuminoides, en comparación con el pretratamiento convencional (agua a 100°C durante 60 minutos).

El pretratamiento mediante microondas (600-900 W) en comparación con el método tradicional requiere un menor tiempo de procesamiento (4 a 5 minutos), lo que permite producir cúrcuma deshidratada con una menor pérdida de la calidad, debido a la menor exposición de la cúrcuma a temperaturas elevadas que provocan la degradación del color otorgado por la curcumina (Giménez et al., 2015). Según lo anterior el uso de la energía de microondas es una buena alternativa para reemplazar el procesamiento con agua a 100°C (Hmar et al., 2017).

V.1.1.2 Optimización de procesos de secado

En la **Tabla 11** se puede observar el resumen de tres estudios que realizan una optimización del proceso de deshidratación de cúrcuma. En la investigación realizada por Oke et al. (2020) se optimizó un proceso de secado mediante convección, cuyo objetivo era minimizar la humedad final de la cúrcuma, sin provocar cambios significativos sobre el análisis proximal. Como resultado se obtuvo que el proceso de deshidratación realizado bajo las condiciones optimizadas de tiempo, temperatura y velocidad del aire redujo la humedad de la cúrcuma hasta un 8,8% (base húmeda), sin alterar significativamente el análisis proximal, evidenciando que un proceso de secado por convección por 180 minutos a 60°C no provoca efectos negativos sobre los macronutrientes de la cúrcuma.

La optimización del secado de cúrcuma mediante convección (60°C), seguido por microondas (630 W) evaluada por Monton et al. (2019a), tuvo como objetivo maximizar el contenido de curcuminoides en la cúrcuma deshidratada, siendo el tiempo de secado

por convección y tiempo de secado por microondas los factores a optimizar. Bajo las condiciones de proceso optimizadas (mayor tiempo de secado mediante microondas) se obtuvo cúrcuma deshidratada con un contenido de curcuminoides de 7,5% p/p.

En la investigación realizada por Hirun et al. (2014) se realizó una optimización del tiempo y potencia de un proceso de secado por microondas asistido por vacío. Como resultado se obtuvo que a tiempos superiores a 27 min y potencias superiores a 3500 W es posible maximizar el contenido de curcuminoides y minimizar la humedad final de la cúrcuma, obteniendo cúrcuma con un contenido de curcuminoides superior a 10 % p/p y una humedad inferior a 10% en base húmeda.

Tabla 11: Optimización de procesos de secado de cúrcuma

Método	Factores optimizados	Variables respuesta	Condiciones optimizadas	Referencia
C	Tiempo: 180-420 min Temperatura: 60-65°C Velocidad del aire: 1,5-2 m/s	*Humedad ↓	Tiempo: 180 min Temperatura: 60°C V. aire: 2 m/s	(Oke et al., 2020)
C + M	Tiempo C (60°C): 0-30 min Tiempo M (630 W): 20-60 min	Curcuminoides ↑	Tiempo C : 29 min Tiempo M : 37 min	(Monton et al., 2019a)
M-V	Potencia microondas: 2400-4000 W Tiempo: 10-30 min	Humedad ↓ a_w ↓ EC ₅₀ ↓ Curcuminoides ↑ Fenoles totales ↑	Potencia M : 4000 W Tiempo: 30 min	(Hirun et al., 2014)

C: Convección; **M:** Microondas; **C+V:** Convección seguido por microondas; **M-V:** Microondas asistido por vacío; ↑: Maximizar; ↓: Minimizar

* Minimizar la humedad manteniendo inalterable el análisis proximal (lípidos, proteína y carbohidratos)

V.1.1.3. Cinética de secado y aspectos energéticos

En la **Tabla 12** se expone las condiciones y tiempo de proceso de diversos métodos de secado que se han estudiado en la cúrcuma. Entre los métodos evaluados, la técnica que permite deshidratar la cúrcuma en el menor periodo de tiempo corresponde a la tecnología de microondas, la cual ha demostrado reducir la humedad de la cúrcuma en un 99,5% (base seca) en 4 minutos (Surendhar et al., 2019); sin embargo, requiere un pretratamiento con agua hirviendo y un posterior proceso de laminado de la cúrcuma previo al secado. Respecto al consumo de energía, en el estudio realizado por Surendhar et al. (2019) se evidencia que el incremento de la potencia en el secado mediante microondas provoca una disminución del consumo de energía específica (270W:22,49 MJ/kg; 720W:10 MJ/kg; 900W: 9,11 MJ/kg), lo que se traduce en una mayor eficiencia energética.

Tabla 12: Métodos de secado cúrcuma (Rizoma)

Método de secado	Pretratamiento	Xi	Xf	Tiempo (min)	Temp. (°C)	Potencia (W)	Referencia
Microondas	Agua hirviendo, 45 min	5,5574	0,0848	4	Ta	720	(Surendhar et al., 2019)
Vacío-microondas	Sin pretratamiento	10,7647	0,0481	30	Ta	4000	(Hirun et al., 2014)
Convección + microondas	Agua hirviendo, 30 min	S/i	S/i	66	60	630	(Monton et al., 2019b)
Convección	Microondas 900 W, 4 min	4,7143	0,1111	360	Ta		(Hmar et al., 2017)
Solar-conducción	Agua hirviendo, 2 min	3,6838	0,0582	720	39-51		(Borah et al., 2015)
Convección-solar	Sin pretratamiento	0,7790	0,0700	720	42-68		(Karthikeyan & Somasundaram, 2018)
Solar-biomasa	Agua hirviendo, 2 min	8,3100	0,0668	840	55-60		(Borah et al., 2017b)
Convección	Agua hirviendo, 45 min	5,4467	0,1111	2700	60		(Singh et al., 2010)

Xi: Humedad inicial (g agua/g solidos seco); Xf: Humedad final (g agua/g solidos seco)
 Ta: Temperatura ambiente; S/i: Sin información

De los métodos evaluados, el secado por convección de rizomas enteros es el que presenta el mayor tiempo de procesamiento (Singh et al., 2010), lo que se traduce en un gran consumo de energía, evidenciando la importancia de un proceso de laminado del alimento previo al secado, ya que a menor grosor de la cúrcuma, mayor es la velocidad de secado (Bezbaruah & Hazarika, 2014).

El secado solar desde el punto de vista energético es el método más eficiente y económico, pero los estudios analizados que evalúan esta metodología permiten constatar que posee la desventaja de requerir un gran tiempo de proceso (en promedio 760 minutos), causando un deterioro de la calidad organoléptica de la cúrcuma y la degradación de compuestos bioactivos debido a la radiación UV.

En la **Tabla 13** se puede observar la difusividad de diversos métodos y condiciones de secado. De los métodos evaluados, la técnica que presenta la mayor difusividad corresponde al secado por microondas, con una difusividad promedio de $6,31 \times 10^{-8}$ m/s, mientras que los menores valores de difusividad se observan en la convección y el secado solar, con un promedio de $6,36 \times 10^{-10}$ m/s. Lo anterior explica la razón por la cual el secado mediante convección y/o energía solar requiere un mayor tiempo de deshidratación, en comparación con las microondas, debido a que la difusividad es un indicador del movimiento del agua desde el alimento (cúrcuma) hacia el ambiente (a mayor difusividad mayor es la transferencia de masa, por consiguiente, mayor es la eliminación de agua por unidad de tiempo).

Según la investigación realizada por Taskin & Izli (2019), la difusividad de la liofilización ($1,010 \times 10^{-09} \text{ m}^2/\text{s}$) es casi 9 veces menor en comparación con las microondas ($9,120 \times 10^{-09} \text{ m}^2/\text{s}$), evidenciando que la liofilización requiere más tiempo de proceso. En la **Figura 11** y **Figura 12** se pueden observar diferentes curvas de secado mediante convección y secado solar.

Tabla 13: Difusividad de diversos métodos y condiciones de secado

Método	Condiciones de proceso			Difusividad (m^2/s)	Referencia
	T/P ($^{\circ}\text{C}$ o W)	V (m/s)	Ta (mm)		
Convección	60	3,6	10×13	$1,770 \times 10^{-10}$	(Mulet et al., 2005)
Solar-conducción	39-51		10×60	$1,852 \times 10^{-10}$	(Borah et al., 2015)
Convección	80	3,6	10×13	$3,730 \times 10^{-10}$	(Mulet et al., 2005)
Convección	100	3,6	10×13	$7,800 \times 10^{-10}$	(Mulet et al., 2005)
Liofilización				$1,010 \times 10^{-09}$	(Taskin & Izli, 2019)
Solar-convección	50	0,8	10×60	$1,667 \times 10^{-09}$	(Borah et al., 2017b)
Infrarrojo	60		$5 \times 5 \times 5$	$2,030 \times 10^{-09}$	(Taskin & Izli, 2019)
Microondas	350		$5 \times 5 \times 5$	$9,120 \times 10^{-09}$	(Taskin & Izli, 2019)
Microondas	270			$2,130 \times 10^{-08}$	(Surendhar et al., 2019)
Microondas	900			$1,590 \times 10^{-07}$	(Surendhar et al., 2019)

T/P: temperatura o potencia; V: velocidad del aire; Ta: tamaño del rizoma

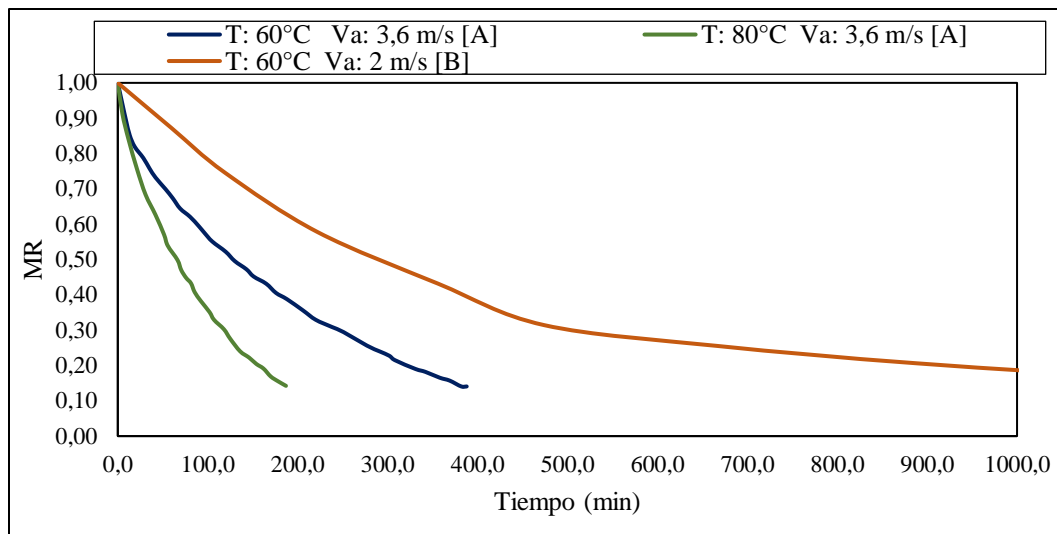


Figura 11: Curvas experimentales de secado de cúrcuma mediante convección (elaboración propia)

MR: (humedad a tiempo t/humedad inicial)
 T: temperatura; Va: velocidad del aire
 [A]: (Mulet et al., 2005); [B]: (Singh et al., 2010)

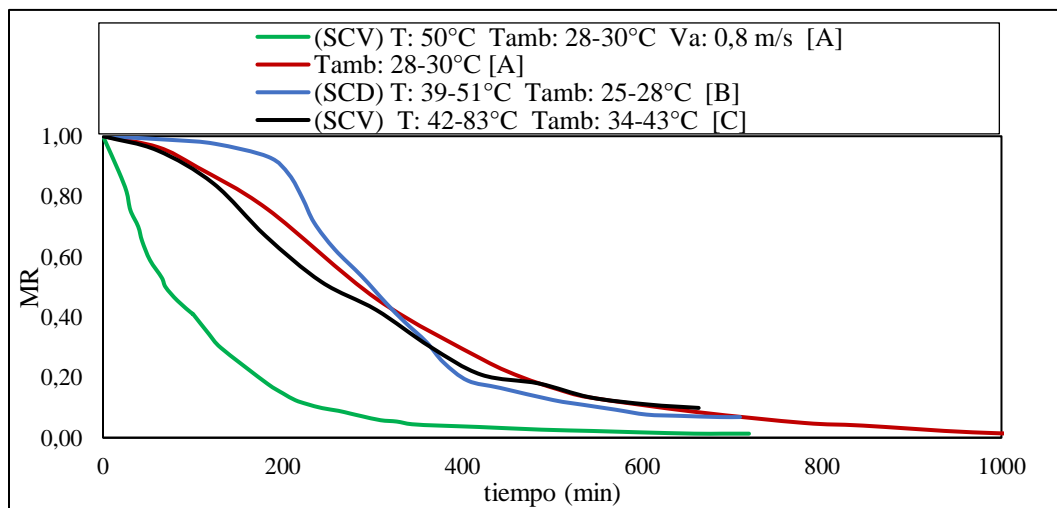


Figura 12: Curvas experimentales de secado de cúrcuma mediante energía solar (elaboración propia)

MR: (humedad a tiempo t/humedad inicial)
 T: temperatura; Tamb: temperatura ambiente; Va: velocidad del aire
 (SCV): Solar-convección; (SCD) Solar-conducción
 [A]: (Borah et al., 2017b) ; [B]: (Borah et al., 2015); [C]: (Karthikeyan & Somasundaram, 2018)

V.1.1.4. Calidad del producto final

En un estudio realizado por Monton et al. (2019a) se demuestra que el secado de cúrcuma mediante convección (60°C) seguido por microondas (630W) influye en la composición y cantidad de los curcuminoides, siendo estos menores a 5 g/100g en procesos con un tiempo de secado menor a 13,5 minutos para la convección y 27 minutos para las microondas, sin embargo, al evaluar el efecto del secado por convección (60°C) seguido por microondas (630W) sobre la humedad final, se evidencia que esta es menor a 10 % (humedad final recomendada por la FAO) cuando la combinación del tiempo convección-microondas se encuentra en la zona azul de la **Figura 13**.

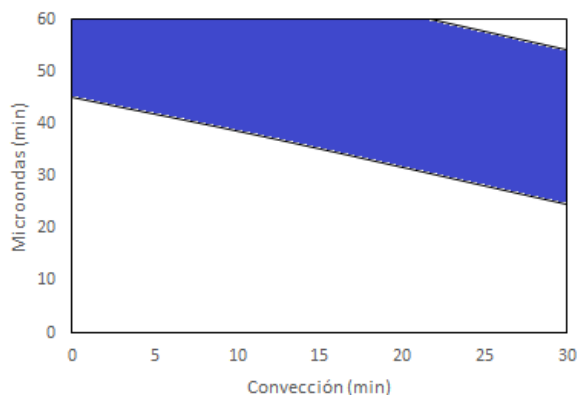


Figura 13: Combinación de tiempo de convección (60°C) seguido por microondas (630W) que permite obtener cúrcuma bajo el estándar de la farmacopea tailandesa de hierbas (Zona azul) (Monton et al., 2019b)

Según lo anterior se puede deducir que el método de secado mediante convección a 60°C seguido por microondas a 630W permite obtener cúrcuma deshidratada de una calidad óptima de acuerdo con lo establecido por la farmacopea tailandesa de hierbas (humedad final menor a 10% base húmeda, aceite mayor a 6% v/p y curcuminoides mayor a 5% p/p) cuando la humedad final de la cúrcuma es inferior a 10% en base húmeda (Monton et al., 2019b).

Respecto a la influencia de la temperatura sobre parámetros de calidad en la deshidratación de cúrcuma mediante convección, Singh et al. (2010) evaluó diferentes condiciones de temperatura entre 45 y 65°C, obteniendo como resultado que la cúrcuma deshidratada a 60°C presenta la mejor calidad, de acuerdo al cambio de color y contenido de oleorresina (13%).

En el caso del secado por microondas se ha demostrado que potencias entre 270 y 450 W permiten obtener un producto con un contenido de curcumina mayor a 6g/100g (Surendhar et al., 2019), no obstante, cuando la energía de microondas esta asistida por vacío se puede obtener cúrcuma deshidratada con un contenido de curcuminoides superior al 8% p/p (Hirun et al., 2014).

En la **Figura 14** se expone el efecto que tiene el método de secado sobre el cambio de color de la cúrcuma (parámetro de variación del color ΔE). El método que provoca el mayor cambio de color corresponde al secado solar, cuyo ΔE es 4,6 veces más grande en comparación con la liofilización (método que posee el menor ΔE). La deshidratación mediante microondas (630W) e infrarrojo (60°C) en comparación con la liofilización presentan un ΔE de más del doble, evidenciando que este último método es el más apropiado si se desea obtener cúrcuma deshidratada con el menor cambio de color posible.

La liofilización provoca el menor cambio de color en la cúrcuma debido a que este método permite deshidratar los alimentos a baja temperatura, reduciendo la degradación de la curcumina provocada por temperaturas elevadas (Giménez et al., 2015), además en este método se protege al alimento de la luz, evitando la degradación de la curcumina causada por la radiación UV (Kumavat et al., 2013).

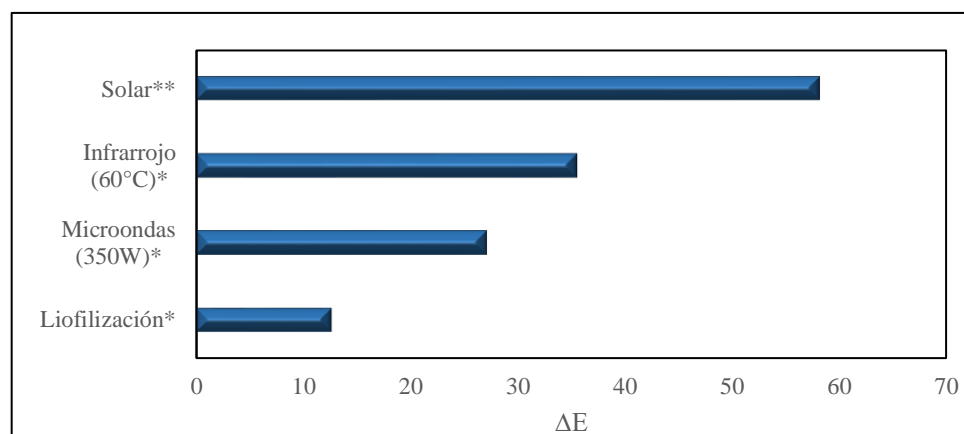


Figura 14: Cambio de color (ΔE) según método de secado (elaboración propia)
*: (Taskin & Izli, 2019); **: (Borah et al., 2017a)

V.1.2. Extracción de oleorresina de cúrcuma

La oleorresina de cúrcuma es el extracto orgánico de la cúrcuma cuyos componentes corresponden a curcuminoides, aceite, ácidos grasos no volátiles y otros ingredientes no activos. La oleorresina presenta un color anaranjado y tiene el potencial de ser utilizada por la industria alimentaria para otorgar color y aroma a los productos (Sasikumar, 2012).

En la **Tabla 14** se pueden observar cuatro estudios que evalúan la extracción de oleorresina. De los cuatro métodos expuestos, la doble extracción soxhlet (Green et al., 2008) y la extracción con acetona con un pretratamiento con glucoamilasa (Kurmudle et al., 2013) presentan los mayores rendimientos, debido al elevado tiempo y temperatura de procesamiento. No obstante, la extracción soxhlet estudiada por Haldar et al. (2016) presenta la ventaja de requerir menor tiempo y temperatura, en comparación con la doble extracción (Green et al., 2008), evidenciando un rendimiento del 77% respecto al método anteriormente mencionado. Debido a lo anterior, es posible inferir que tanto la extracción con acetona (Kurmudle et al., 2013) como la doble extracción con etanol (Green et al., 2008) provocan una mayor degradación de compuestos bioactivos (principalmente curcumina) presentes en la oleorresina de cúrcuma, por lo que la extracción durante 1 hora a 49°C con acetona (Haldar et al, 2016) es el método más apropiado en cuanto a la calidad del producto obtenido.

Tabla 14: Métodos de extracción de oleorresina

Método	Condiciones de operación	Rendimiento (g/100 g cúrcuma seca)	Referencia
Doble Extracción*	Tiempo: 8h Temperatura: 80°C Solvente: Etanol (95%)	12,4	(Green et al., 2008)
Soxhlet**	Tiempo: 8 h Temperatura: 70°C Solvente: Acetona	11,15	(Kurmudle, et al., 2013)
Soxhlet	Tiempo: 1 h Temperatura: 49°C Solvente: Acetona s/s: 1/21 Tp: 0,24 mm	9,57	(Haldar et al, 2016)
Soxhlet	Tiempo: 1 h Temperatura: 50°C Solvente: Acetona s/s: 1/30 Tp: 0,23 mm	6,47	(Haldar et al., 2015)

* Doble extracción (1° 6h, 2° 2h); ** Pretratamiento con glucoamilasa
s/s: razón cúrcuma/solvente (g/g), Tp: tamaño de partícula

V.1.3. Extracción de aceite de cúrcuma

El aceite puede ser extraído a partir de los rizomas, hojas o flores de la cúrcuma. El proceso de extracción generalmente es realizado mediante destilación por arrastre de vapor o extracción con solvente, no obstante, el uso de fluidos supercríticos, como el dióxido de carbono es un alternativa al método anteriormente mencionado (Nair, 2019).

En la **Tabla 15** se describen las condiciones de procesamiento y rendimiento de 5 metodologías de extracción de aceite de cúrcuma. La destilación por arrastre con vapor (Manzan et al., 2003) presenta el menor rendimiento de las técnicas estudiadas, mientras que la extracción con CO₂ supercrítico estudiada por Chang et al. (2006) y Carvalho et al. (2015) posee los rendimientos más altos, evidenciando que esta técnica es una buena alternativa para sustituir la extracción mediante destilación. La extracción mediante CO₂ supercrítico permite obtener altos rendimientos debido a la alta presión involucrada en el proceso (más de 200 atm) y la alta solubilidad del aceite en el dióxido de carbono (Carvalho et al., 2015).

La extracción mediante agua subcrítica (Mottahedin et al., 2017) permite obtener un mayor rendimiento de aceite en comparación con la destilación; sin embargo, este rendimiento es menor respecto al CO₂ supercrítico, producto de la menor solubilidad del aceite en el agua, incluso cuando esta se encuentra en estado subcrítico (100-374°C).

Tabla 15: Métodos de extracción de aceite de cúrcuma

Método	Condiciones de operación	Rendimiento (g/100 g cúrcuma seca)	Referencia
Extracción con CO ₂ supercrítico	Presión: 25 Mpa Temperatura: 60°C Tiempo: 3 h	7,90	(Carvalho et al., 2015)
Extracción con CO ₂ supercrítico	Presión: 30 MPa Temperatura: 60°C Tiempo: 2,5 h Tamaño de partícula: 0,42 mm	6,98	(Chang et al., 2006)
Extracción con éter de petróleo	Temperatura: 40°C Tiempo: 6 h	5,49	(Manzan et al., 2003)
Extracción con agua subcrítica	Temperatura: 120°C Tiempo: 100 min Flujo de agua: 4 ml/min Tamaño de partícula: 0,5 mm	3,70	(Mottahedin et al., 2017)
Destilación por arrastre con vapor	Presión: 0,1 Mpa Temperatura: 101°C Tiempo: 2 h	0,46	(Manzan et al., 2003)

V.1.4 Extracción de curcuminoides-curcumina

Se han reportado diversos métodos para obtener curcuminoides a partir de la cúrcuma, tales como, extracción convencional con solvente, percolación y uso de soluciones alcalinas o sales insolubles, observándose durante los últimos años estudios sobre la extracción de curcuminoides mediante técnicas innovadoras como el uso de fluidos supercríticos, microondas o ultrasonido (Wakte et al., 2011).

En la **Tabla 16** se resumen 8 metodologías de extracción de curcuminoides. De las técnicas analizadas la extracción con líquido iónico combinada con microondas (Liang et al., 2017) o ultrasonido (Xu et al., 2015) presenta los mayores rendimientos, y al ser comparada con los estudios que evalúan la extracción soxhlet se evidencia que además de un mayor rendimiento requiere menor tiempo de procesamiento. Debido a lo anterior la extracción con líquido iónico asistida con tecnologías como microondas o ultrasonido es una buena alternativa como reemplazo a la extracción convencional (soxhlet). La extracción mediante líquido iónico asistida con ultrasonido (Xu et al., 2015) permite obtener altos rendimientos debido a que las ondas mecánicas inducen una mayor penetración del solvente dentro de las partículas de cúrcuma, incrementando la transferencia de masa (transferencia de curcumina desde la cúrcuma al solvente).

Tabla 16: Métodos de extracción de curcuminoides

Método	Condiciones de operación	Rendimiento (g/100 g cúrcuma seca)		Referencia
		Curcumina	C. totales	
CO ₂ supercrítico	Solvente: CO ₂ + etanol Tiempo: 240 min Presión: 30 MPa Temperatura: 50°C	1,4	s/i	(Wakte et al., 2011)
Líquido iónico + microondas	Solvente: 0,3 mol/l [Omim]Br Solvente/ cúrcuma (ml/g): 60 Potencia microondas 300 W Tiempo: 2 min Temperatura: 55°C	2,5	5	(Liang et al., 2017)
Líquido iónico + ultrasonido	Solvente: 0,42 mol/l [Omim]Br Solvente/ cúrcuma (ml/g): 30 Potencia ultrasonido: 250 W Tiempo: 90 min	s/i	6,14	(Xu et al., 2015)
*Líquido presurizado	Solvente: etanol Tiempo: 20 min Presión: 10 Mpa Temperatura: 60°C	s/i	4,3	(Osorio-Tobón et al., 2014)
** Microondas	Solvente: acetona Potencia microondas: 140W Tiempo: 5 min	1,9	s/i	(Wakte et al., 2011)
Soxhlet	Solvente: acetona Tiempo: 8 h	2,1	s/i	(Wakte et al., 2011)
*Soxhlet	Solvente: etanol Tiempo: 6 h Temperatura: 78°C	s/i	4,2	(Osorio-Tobón et al., 2014)
** Ultrasonido	Solvente: acetona Potencia ultrasonido: 150W Tiempo: 5 min	1,5	s/i	(Wakte et al., 2011)

C. totales: Curcuminoides totales

* Cúrcuma previamente procesada mediante CO₂ supercrítico

**Cúrcuma previamente almacenada en agua (1:2 p/v) por 24 horas a 20°C

s/i: Sin información

Además de los métodos anteriormente mencionados, se ha investigado la extracción de curcumina mediante agua subcrítica (140°C, 10min, 10 bar), obteniéndose un rendimiento de 1,2% de curcumina (Valizadeh et al., 2016). A pesar del menor rendimiento de la extracción mediante agua subcrítica, este método presenta la ventaja de utilizar un solvente económico e inocuo para el medio ambiente. En la **Figura 15** se puede observar el cambio en la morfología de las partículas de cúrcuma luego de la extracción de curcuminoides mediante agua subcrítica (140°C, 2 mm, 10 bar) realizada por Valizadeh et al. (2016). Antes de la extracción la superficie de las partículas de cúrcuma se encuentra compacta y sin porosidad, mientras que posterior al proceso de extracción se observa una superficie porosa. El cambio en la superficie permite constatar la efectividad del agua subcrítica, debido a que la porosidad incrementa el área de contacto entre el solvente y el soluto, posibilitando una extracción efectiva.

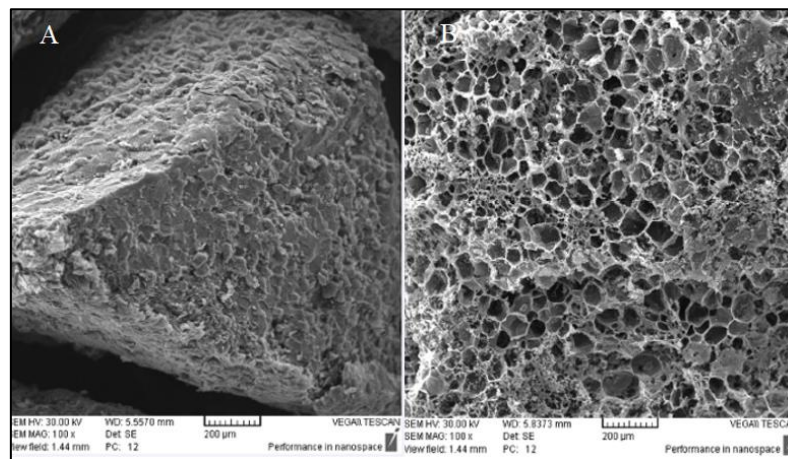


Figura 15: Microscopía electrónica de partículas de cúrcuma en polvo (rizoma) (100x)
A: antes de la extracción (2 mm) B: después de la extracción (140°C, 2mm, 10 bar)
(Valizadeh et al., 2016)

V.2. Propiedades funcionales de la cúrcuma

Dentro de las numerosas especias que existen, la cúrcuma destaca por sus propiedades funcionales, tales como, actividad antiinflamatoria y anticancerígena, por lo que su incorporación en la dieta otorga potenciales beneficios a la salud (Hay et al., 2019; Thakur et al., 2019). La cúrcuma posee un contenido importante de antioxidantes, siendo el principal de ellos la curcumina (Liu et al., 2018). Debido a lo anterior la cúrcuma se caracteriza por tener una gran capacidad antioxidante, lo que se traduce en la protección de las células del daño que provocan los radicales libres que se producen en el medio intracelular (Thakur et al., 2019).

Gran parte de las propiedades funcionales de la cúrcuma se deben a la presencia de curcuminoides, en particular la curcumina, sin embargo, esta planta posee otros compuestos con actividad biológica como los turmerones (Nair et al., 2019).

V.2.2. Curcuminoides-curcumina

La curcumina tiene el potencial de prevenir y/o tratar enfermedades, como diabetes tipo 2, alergias, Alzheimer y otras enfermedades crónicas (Stanić, 2017), además se ha comprobado que inhibe el crecimiento de células cancerígenas e induce la apoptosis de estas, por lo que tiene el potencial de prevenir diversos tipos de cáncer (Giordano & Tommonaro, 2019; Rani & Yadav, 2018).

V.2.2.1. Efecto sobre el cáncer

Se ha demostrado que la curcumina inhibe la carcinogénesis inducida químicamente en la piel, estómago y colon cuando es administrada durante fases iniciales y/o posteriores (Majumdar, 2019), debido a que este compuesto bioactivo inhibe la proliferación de células cancerosas deteniendo el crecimiento de estas en diferentes fases del ciclo celular (Capasso et al., 2006). Estudios in vitro e in vivo indican que la curcumina tiene la capacidad de interferir en múltiples vías de señalización celular involucradas en la carcinogénesis, incluyendo la inhibición de la progresión del ciclo celular, inducción de la apoptosis, y reducción de la formación de metástasis (Tao et al., 2018). La curcumina no posee efectos adversos en las células normales, lo que convierte a este compuesto en un prometedor agente quimiopreventivo (Shemesh & Arber, 2014).

La **Tabla 17** expone el resumen de siete estudios celulares *in vitro* que evidencian la actividad anticancerígena de la curcumina. Se ha reportado que 5 μM de curcumina inhibe la proliferación de células cancerígenas de ovario luego de 24 horas (Kocal, 2019). En células cancerígenas de tiroides se ha demostrado que 12,5 μM de curcumina inhibe la metástasis e induce la apoptosis (Zhang et al., 2013; Zhang et al., 2018), mientras que a una concentración de 15 μM la curcumina ha evidenciado inducción de la apoptosis en neuroblastoma (Picone et al., 2014) e inhibición de la proliferación en células cancerígenas de pulmón (Yang et al., 2012).

La curcumina posee un potencial efecto sinérgico junto con otros extractos naturales, evidenciado por la inducción de la apoptosis y retardo en el crecimiento de células cancerígenas (mama y laringe) provocado por el extracto de kale (*Cassia auriculata*) con 5 μM de curcumina, evaluado por Prasanna et al. (2011).

Respecto al mecanismo de acción de la curcumina se encuentra la detención del ciclo celular en fase S y G2/M (Giordano & Tommonaro, 2019). Además, estudios celulares *in vitro* han evidenciado que este compuesto bioactivo provoca la inhibición de la expresión de MMP-2 y MMP-9 (Patel et al., 2019).

Tabla 17: Estudios celulares *in vitro* del efecto de la curcumina sobre el cáncer

Muestra	Células cancerígenas	Resultado	Referencia
Extracto de cúrcuma (98,6 g curcumina/100 g extracto seco)	Mamas (MCF-7); colon (HCT116), hígado (HepG2)	Inhibición de la proliferación	(Yang et al., 2020)
Extracto de kale (<i>Cassia auriculata</i>) + curcumina (5 µM)	Mamas (MCF7); laringe (Hep2)	Inducción de la apoptosis	(Prasanna et al., 2011)
Curcumina (5 µM)	Ovario (ONCO-DG-1)	Inhibición de la proliferación	(Kocal, 2019)
Curcumina (12,5 µM)	Tiroides	Inducción de la apoptosis	(Zhang et al., 2018)
Curcumina (12,5 µM)	Tiroides (K1)	Inhibición de la metástasis	(Zhang et al., 2013)
Curcumina (15 µM)	Neuroblastoma (LAN5)	Inducción de la apoptosis	(Picone et al., 2014)
Curcumina (15 µM)	Pulmón (NCI-H446 y NCI-1688)	Inhibición de la proliferación	(Yang et al., 2012)

En cuanto a los ensayos *in vivo*, se ha estudiado el efecto de la curcumina en ratones, comprobándose que una dieta (AIN-76A) suplementada con un 2% de curcumina disminuye la proliferación e induce la apoptosis de células cancerígenas de próstata (Barve et al., 2008). Asimismo, en ratones inoculados con células cancerígenas de próstata (PC3), se evidenció que un 1% de curcumina añadida en la dieta reduce la metástasis, inhibiendo la activación de NF-κB (Killian et al., 2012).

V.2.2.2. Efecto sobre la diabetes y el metabolismo

En los últimos años la curcumina ha atraído la atención de los investigadores debido a su potencial capacidad de prevenir y tratar la diabetes (Zhang et al., 2013), cuyo posible mecanismo consiste en la estimulación del páncreas, provocando un aumento en la producción y liberación de la insulina, junto con la reducción de la resistencia a la insulina (Hay et al., 2019; Sanlier & Gencer, 2020). La curcumina tiene el potencial de tener un efecto sinérgico con fármacos convencionales utilizados para tratar la diabetes, por lo que el uso de curcumina como coadyuvante para la terapia de la diabetes es un tema que merece ser considerado y estudiado (Rivera-Mancía et al., 2018).

En ratones (Sprague-Dawley, machos, 170-190g) diabéticos (tipo 2), se ha demostrado que el consumo de curcumina (300 mg/kg al día) provoca una disminución de la glucosa en la sangre y el colesterol, además mejora el funcionamiento del hígado mediante la regulación de la expresión de proteínas asociadas con la apoptosis de células hepáticas (Xia et al., 2020). Así mismo, en ratones (Sprague-Dawley, machos) con resistencia a la insulina y diabetes tipo 2, inducida mediante una dieta rica en grasas, el consumo de curcumina (80 mg/kg al día) provocó una disminución del LDL y la glucosa en la sangre (El-Moselhy et al., 2011).

En la **Tabla 18** se puede observar el resumen de cinco estudios que evalúan el efecto de la curcumina en el metabolismo de personas sanas, prediabéticas o diabéticas (tipo 2). En la investigación realizada por Chuengsamarn et al. (2012) se estudió el efecto de la ingesta de curcuminoides en personas prediabéticas que cumplen con al menos uno de los siguientes parámetros: glicemia en ayuno entre 100 y 124 mg/dl, tolerancia de la glucosa entre 140 y 199 mg/dl y HbA1c (prueba de hemoglobina glicosilada) entre 5,7 y 6,4%. El grupo que consumió curcuminoides presentó un mayor HOMA- β (indicador del funcionamiento de las células β del páncreas) y un menor HOMA-IR (indicador de la resistencia a la insulina), evidenciando el efecto beneficioso que provocan los curcuminoides (principalmente la curcumina) en cuanto al funcionamiento de las células β del páncreas y disminución de la resistencia a la insulina. Además, ninguna de las personas pertenecientes al grupo que consumió los curcuminoides desarrolló la diabetes, mientras que el 16,4% del grupo control si la desarrolló, demostrando el potencial efecto preventivo que tienen los curcuminoides respecto al desarrollo de diabetes tipo 2.

En los estudios realizados por Na et al. (2013) y Hodaei et al. (2019) se demostró que el consumo de curcuminoides provoca una disminución de la glucosa en la sangre en personas diabéticas (tipo 2), no obstante, solo en el estudio de Na et al. (2013) se observó una disminución del HOMA-IR.

Tabla 18: Estudios sobre el efecto de la curcumina en la diabetes y el metabolismo

Metodología	Tipo	Resultado	Referencia
Consumo de 1500 mg de curcuminoides al día durante 9 meses	Prediabetes	Ninguna persona fue diagnosticada con diabetes tipo 2	(Chuengsamarn et al., 2012)
Consumo de metformina + 2 g/día de cúrcuma (46 mg de curcumina/día) por 4 semanas	Diabetes tipo 2	Disminución del nivel de glucosa en la sangre y disminución de la resistencia a la insulina	(Maithili et al., 2015)
Consumo de 300 mg/día de curcuminoides por 3 meses	Diabetes tipo 2	Disminución del nivel de glucosa en la sangre y disminución de la resistencia a la insulina	(Na et al., 2013)
Consumo de 1500 mg de curcumina al día durante 10 semanas	Diabetes tipo 2	Disminución del nivel de la glucosa en la sangre sin alteración de la resistencia a la insulina	(Hodaei et al., 2019)
Consumo de 6g de cúrcuma (alrededor de 360 mg de curcumina)	Personas sanas	Incremento de la insulina postprandial sin un aumento de la glucosa	(Wickenberg et al., 2010)

V.2.2.3. Efecto sobre otras enfermedades

La curcumina ha demostrado tener un efecto neuroprotector en relación al Alzheimer, mediante la inhibición de la hiperfosforilación de tau y la reducción de las placas β -amiloide (Rani & Yadav, 2018; Thakur et al., 2019). En el estudio realizado por Shytle et al. (2009) se evaluó el efecto de un extracto de cúrcuma sobre la agregación de las placas β -amiloide en células neuronales humanas (N24, *in vitro*), obteniéndose como resultado la inhibición de la secreción y agregación de estas, lo que demuestra el potencial de la cúrcuma (en particular la curcumina) de reducir la probabilidad de contraer Alzheimer.

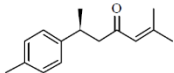
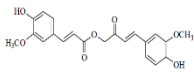
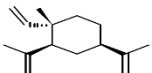
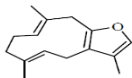


Se ha investigado el efecto de la curcumina respecto a problemas cardiovasculares, el cual consiste principalmente en la reducción del LDL (lipoproteína de baja densidad) y el aumento del HDL (lipoproteína de alta densidad), lo que se traduce en una acción preventiva frente a problemas cardiovasculares como el infarto (Hay et al., 2019).

V.2.3. No curcuminoides

Las propiedades funcionales de la cúrcuma se asocian principalmente a los curcuminoides, sin embargo, la cúrcuma posee otros compuestos bioactivos que no son clasificados como curcuminoides. Dentro de los no curcuminoides destacan los terpenoides (compuestos hidrocarbonados de diversa estructura química), los cuales poseen diversas actividades biológicas, sobresaliendo su efecto anticancerígeno (Afzal et al., 2013; Ludwiczuk et al., 2017). En la **Tabla 19** se expone la actividad biológica de seis compuestos no curcuminoides. La Ar-turmerona y el elemene han demostrado tener la capacidad de inducir la apoptosis (*in vitro*) en células cancerígenas de leucemia (Ji et al., 2004; Nair et al., 2019), mientras que el furanodieno ha demostrado tener la capacidad de inhibir el crecimiento de células cancerígenas de mama (Li et al., 2011).

En el estudio realizado por Yue et al. (2016) se evidenció en ratones inoculados con células cancerígenas de colon (HT29) que el consumo de un extracto etanólico de cúrcuma (400 mg/kg al día, equivalente a 75 mg/kg de curcumina) provoca una mayor inhibición del crecimiento tumoral en comparación con el consumo equivalente de solo curcumina, observándose una inhibición del crecimiento tumoral respecto al control (ratones que no consumieron ni extracto ni curcumina) de un 38,9% para el grupo del extracto y un 26,6% en el caso del grupo de curcumina. Lo anterior evidencia la actividad anticancerígena de compuestos no curcuminoides (principalmente turmerones) presentes en la cúrcuma, los cuales poseen un efecto sinérgico con los curcuminoides.

Tabla 19: Actividad biológica de compuestos no curcuminoides

Compuesto	Estructura	Actividad biológica	Referencia
Ar-turmerona		Anticancerígeno (inducción de la apoptosis en células cancerígenas como K562, RBL-2H3, L1210 y U937) y antiinflamatoria	(Afzal et al., 2013; Ji et al., 2004)
Calebina-A		Anticancerígeno (inducción de la apoptosis en células cancerígenas del colon)	(Nair et al., 2019)
Elemene		Anticancerígeno (inducción de la apoptosis en células HL-60)	(Nair et al., 2019)
Furanodieno		Anticancerígeno (inhibición del crecimiento de células BT474 e inducción de apoptosis en células SKBR3)	(Li et al., 2011)
Curcumol		Anticancerígeno (actividad antitumoral, inducción de la apoptosis)	(Afzal et al., 2013)
Curdione		Actividad hepatoprotectora	(Afzal et al., 2013)

V.3. Capacidad antimicrobiana de la cúrcuma

En cuanto a las propiedades de la cúrcuma destaca su potencial capacidad antimicrobiana (Panpatil et al., 2013), la cual ha sido objeto de estudio de varias investigaciones en los últimos años (Foujdar et al., 2018; Mustapha et al., 2019; Zabidi et al., 2020). Se ha comprobado que extractos de cúrcuma (rizoma), aceite de cúrcuma, fibra de celulosa (tallo de la cúrcuma) e hidrolizados poseen actividad antimicrobiana frente a bacterias de interés en la industria de alimentos, tales como, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. (Ilangovan et al., 2018; Queiroz et al., 2018; Thongson et al., 2005). La curcumina, el principal compuesto bioactivo presente en la cúrcuma, ha demostrado tener una alta actividad antimicrobiana frente a bacterias Gram-positivas como *Staphylococcus aureus* (Adamczak et al., 2020).

V.3.1. Concentración mínima inhibitoria (CMI)

En la **Tabla 20** se expone la concentración mínima inhibitoria (CMI) de extractos de cúrcuma respecto a *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* y *Staphylococcus aureus*. De acuerdo con los resultados obtenidos por Panpatil et al. (2013), la bacteria que presenta la menor CMI es *Staphylococcus aureus*, lo cual evidencia que esta bacteria es la más sensible al extracto de cúrcuma, ya que se requiere una menor concentración de extracto para inhibir su proliferación. En cuanto al solvente utilizado para la extracción, en la **Tabla 20** se puede observar que la CMI de extractos metanólicos es mayor en comparación con los extractos etanólicos.

Tabla 20: Concentración mínima inhibitoria (CMI) de extractos de cúrcuma

Microorganismo	Extracto	CMI	Referencia
<i>Escherichia coli</i>	Metanólico	250 mg/ml	(Zabidi et al., 2020)
	Etanólico	125 mg/ml	(Panpatil et al., 2013)
<i>Salmonella typhi</i>	Etanólico	150 mg/ml	(Panpatil et al., 2013)
<i>Staphylococcus aureus</i>	Metanólico	250 mg/ml	(Zabidi et al., 2020)
	Etanólico	100 mg/ml	(Panpatil et al., 2013)

Además, en la investigación realizada por Panpatil et al. (2013) se comparó la CMI de un extracto de cúrcuma (**Tabla 20**) con extractos de jengibre y ajo, obteniéndose las siguientes CMI: para el extracto de jengibre 175 mg/ml (*E. coli*) y 125 mg/ml (*S. aureus*) y para el extracto de ajo 175 mg/ml (*E. coli*) y 125 mg/ml (*S. aureus*). Por lo tanto, se observó una menor CMI para la cúrcuma, evidenciando una mayor actividad antimicrobiana de la cúrcuma frente ambos microorganismos (*E. coli* y *S. aureus*) en comparación con el jengibre y ajo.

V.3.2. Halo de inhibición en agar

En la **Tabla 21** se puede observar el resumen de 5 estudios que evalúan la capacidad antimicrobiana de la cúrcuma, mediante la determinación de la zona de inhibición frente a bacterias y hongos. En cuanto a los hongos, se ha evidenciado que un extracto metanólico de cúrcuma (20 mg/ml) provoca una zona de inhibición superior a 15 mm frente al *Aspergillus niger* y *Penicillium citrinum* (Ikpeama et al., 2014). Además, en el estudio realizado por Mustapha et al. (2019) se evidenció que un biopolímero de yuca con aceite de cúrcuma provoca una zona de inhibición superior a 20 mm frente al *Aspergillus niger*.

Tabla 21: Estudios sobre la capacidad antimicrobiana de la cúrcuma (Halo de inhibición)

Mo	M	E/ A	Z (mm)	Referencia
<i>Aspergillus niger</i>	P	Fungabacter	24	(Ikpeama et al., 2014)
		Extracto metanólico (20 mg/ml)	20	
	I	Biopolímero (yuca) con aceite	22,6	(Mustapha et al., 2019)
<i>Penicillium citrinum</i>	P	Fungabacter	30	(Ikpeama et al., 2014)
		Extracto metanólico (20 mg/ml)	16	
<i>Escherichia coli</i>	P	Ampicilina (1mg/ml)	24	(Ikpeama et al., 2014)
		Extracto metanólico (20 mg/ml)	9	
		Extracto metanólico (6 µg)	7,5	(Gul & Bakht, 2015)
		Extracto acuoso (6 µg)	7	
	D	Amoxicilina (30 mg/ml)	15	(Kasta, 2020)
		Extracto etanólico (50 mg/ml)	8,3	
<i>Salmonella typhi</i>	P	Extracto metanólico (6 µg)	7	(Gul & Bakht, 2015)
		Extracto acuoso (6 µg)	7	
<i>Staphylococcus aureus</i>	P	Ampicilina (1 mg/ml)	18	(Ikpeama et al., 2014)
		Extracto metanólico (20 mg/ml)	7	
		Extracto metanólico (6 µg)	10,5	(Gul & Bakht, 2015)
		Extracto acuoso (6 µg)	0	
	D	Amoxicilina (30 mg/ml)	16	(Kasta, 2020)
		Extracto etanólico (50 mg/ml)	7,9	
		Estreptomina (50 mg/ml)	19	(Zabidi et al., 2020)
	Extracto metanólico (250 mg/ml)	6		

Mo: Microorganismo; M: Método; E/A: Extracto o Antibiótico; Z: Halo/zona de inhibición; D: Difusión en disco; I: ISO 22196; P: Difusión en pozo

Respecto a las bacterias, se ha estudiado el efecto antimicrobiano de extractos de cúrcuma (metanólicos, etanólicos y acuosos) frente a *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* y *Staphylococcus aureus*, obteniéndose halos de inhibición entre 6 y 10,5 mm (**Tabla 21**). En cuanto a extractos metanólicos, se han reportado halos de inhibición de 7,5 (6 µg) y 9 mm (20 mg/ml) frente a *Escherichia coli*, mientras que frente a *Staphylococcus aureus* se han obtenido halos de 6, 7 y 10,5 mm a concentraciones de 250 mg/ml, 20 mg/ml y 6 µg respectivamente (Gul & Bakht, 2015; Ikpeama et al., 2014; Zabidi et al., 2020).

Asimismo, una concentración de extracto etanólico de 50 mg/ml ha evidenciado causar una zona de inhibición superior a 7 mm frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* (Kasta, 2020).

En los estudios realizados por Gul & Bakht (2015) y Mustapha et al. (2019) se observa que el extracto metanólico de cúrcuma genera una zona de inhibición de *Escherichia coli* superior a 5 mm, lo que evidencia actividad antimicrobiana frente a esta bacteria. Sin embargo, al comparar ésta con un antibiótico (ampicilina) se aprecia que este último posee un efecto antimicrobiano mucho mayor. En cuanto al *Staphylococcus aureus*, también se observa que la zona de inhibición de extractos metanólicos de cúrcuma (6-10,5 mm) es menor en comparación a los antibióticos ampicilina y estreptomina (18 y 19 mm respectivamente), reflejando que el extracto tiene capacidad antimicrobiana, pero menor en comparación a la de los antibióticos sintéticos.

Comparando la zona de inhibición entre el extracto metanólico y acuoso se puede constatar que en el caso de *Escherichia coli* el extracto acuoso posee un menor efecto antimicrobiano (menor zona de inhibición), mientras que respecto a *Staphylococcus aureus* el extracto acuoso no provoca una zona de inhibición, siendo una de las razones que explica esta diferencia la insolubilidad de la curcumina en el agua (Priyadarsini, 2014). En contraste con las bacterias anteriormente mencionadas, tanto el extracto metanólico (Ikpeama et al., 2014) como el aceite de cúrcuma en un biopolímero de almidón de yuca (Mustapha et al., 2019) presentan una zona de inhibición cercana a la de

un fungicida (fungabacter), frente al *Aspergillus niger*, lo que comprueba la gran actividad antifúngica de la cúrcuma frente este hongo.

Estos estudios demuestran que la cúrcuma, al igual que otros antimicrobianos naturales, posee actividad antimicrobiana, pero que ésta no es comparable a la de los antibióticos (estreptomicina o amoxicilina), ya que para lograr ese efecto sería necesario utilizar altas concentraciones que serían inaceptables desde el punto de vista sensorial en alimentos (Kasta, 2020; Zabidi et al., 2020). Lo anterior se observa también con otros extractos como los de jengibre o ajo (Panpatil et al., 2013), los cuales también poseen una menor actividad antimicrobiana.

Los antimicrobianos naturales se agregan a los alimentos con el fin de reducir la proliferación bacteriana, retardar el crecimiento microbiano y extender la vida útil del alimento. En cambio, los antibióticos no están permitidos en alimentos debido al efecto que tendrían sobre la microbiota intestinal de las personas y la generación de resistencia a los antibióticos que se busca evitar. Por lo tanto, no se puede esperar un efecto antimicrobiano similar a los antibióticos, porque si lo tuvieran, no se permitiría su uso en alimentos.

V.3.3. Efecto antimicrobiano en alimentos

En la **Figura 16** se exponen los resultados de las evaluaciones del efecto de la cúrcuma (incorporada en películas comestibles) sobre la inactivación bacteriana, obtenidos por Tosati et al., (2018) y Kalaycioğlu et al., (2017).

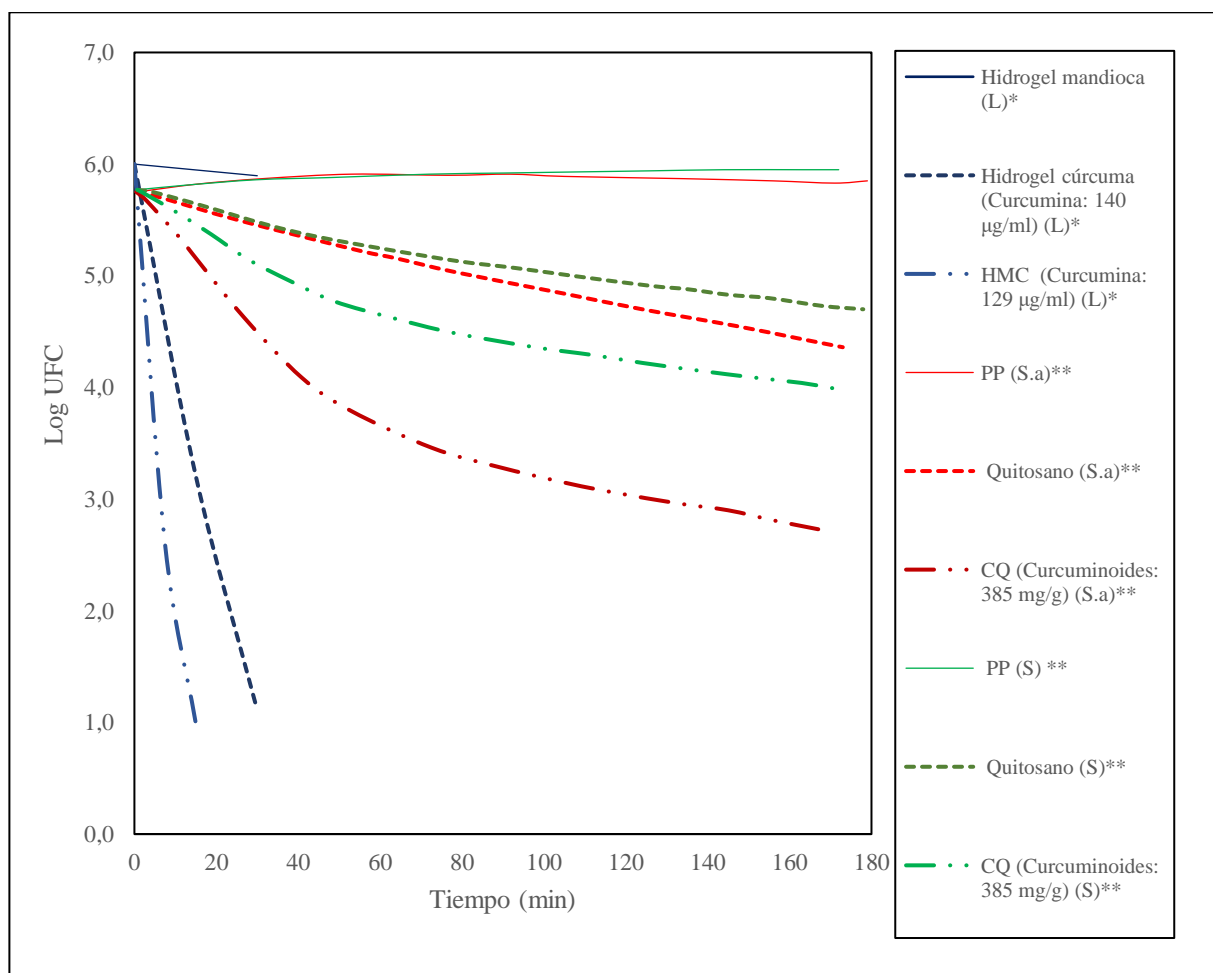


Figura 16: Efecto de la cúrcuma sobre la inactivación bacteriana en películas comestibles (elaboración propia).

HMC: Hidrogel de mandioca con curcumina; CQ: Cúrcuma-quitosano

(L): *Listeria innocua* (S): *Salmonella* (S.a): *Staphylococcus aureus*

* Exposición a radiación UV-A (Tosati et al., 2018); ** (Kalaycioğlu et al., 2017).

Al comparar los recuentos de *Listeria innocua*, *Salmonella* spp. y *Staphylococcus aureus* en las películas sin cúrcuma o curcumina con las películas que si los contienen, es posible evidenciar que la cúrcuma y en particular la curcumina (compuesto activo presente en la cúrcuma) poseen actividad antimicrobiana, ya que se observa una evidente disminución en la concentración bacteriana (2 a 5 reducciones logarítmicas) en el caso del hidrogel-cúrcuma (Curcumina: 140 µg/ml), hidrogel mandioca-curcumina (Curcumina: 129 µg/ml) y quitosano-cúrcuma (Curcuminoides: 385 mg/g).

La curcumina posee actividad antimicrobiana (Rafiee et al., 2019), la cual se evidencia en la disminución de 5 ciclos logarítmicos de la concentración de la *Listeria innocua* en muestras de hidrogel de mandioca con curcumina expuestas a radiación UV-A (320-400 nm, 32 W/m²) durante 20 minutos, en contraste con las muestras de hidrogel de mandioca sin curcumina (expuestas a radiación UV-A no germicida), en las cuales no se observa una disminución de la concentración de la *Listeria innocua* (Tosati et al., 2018). Al observar el cambio en la concentración de *Salmonella* y *Staphylococcus aureus* en las muestras de cúrcuma-quitosano (**Figura 16**), es posible constatar una importante inactivación de estas bacterias (2 y 3 ciclos logarítmicos respectivamente en 180 minutos) (Kalaycıoğlu et al., 2017).

En las muestras de hidrogel (cúrcuma y curcumina) sometidas a radiación UV-A (Tosati et al., 2018) se observa una mayor reducción de la concentración bacteriana en comparación con las muestras de quitosano con cúrcuma que no fueron sometidas a radiación (Kalaycıoğlu et al., 2017), lo que permite constatar el efecto sinérgico (activación de la curcumina presente en el hidrogel) de los rayos UV-A (radiación no germicida).

Respecto al mecanismo de acción de la cúrcuma, se ha estudiado el efecto sobre la morfología de *Staphylococcus aureus*. El extracto de cúrcuma provoca inicialmente plasmólisis y degradación de la membrana citoplasmática, generando posteriormente la destrucción de la membrana exterior y la consecuente pérdida de contenido citoplasmático y destrucción celular (Gupta et al., 2015).

En la **Figura 17** se presentan dos gráficos que exponen el efecto antimicrobiano de la cúrcuma, respecto al recuento de hongos y levaduras en un snack de maíz (**Figura 17A**) y el recuento de aerobios mesófilos (RAM) en pescado (**Figura 17B**).

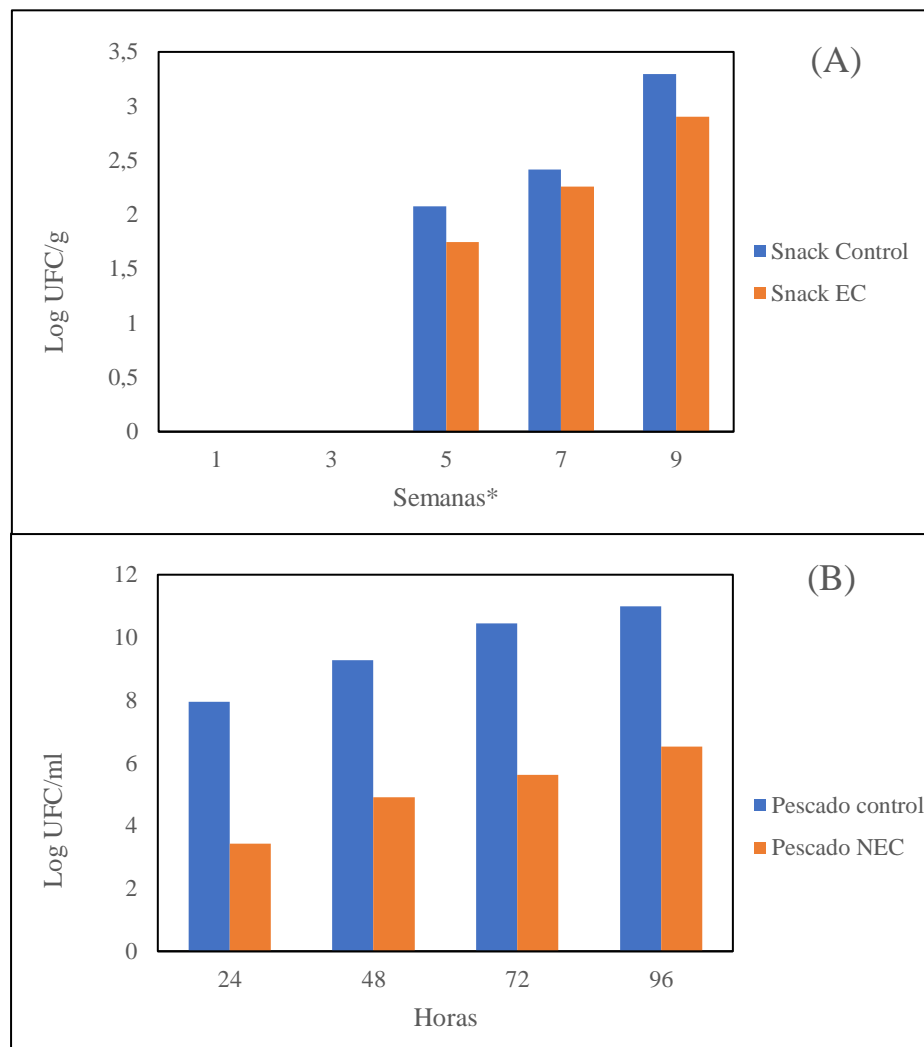


Figura 17: Efecto antimicrobiano de la cúrcuma en alimentos (elaboración propia)

* En las semanas 1 y 3 se registraron 0 UFC/g

(A): Recuento de hongos y levaduras (Rathnayaka et al., 2019)

(B): Recuento de aerobios mesófilos (RAM) (Foujdar et al., 2018)

EC: extracto de cúrcuma (curcumina: 8 % p/p)

NEC: nanoemulsión con extracto de cúrcuma (20 mg extracto/ 100 ml solución)

En el estudio realizado por Rathnayaka et al. (2019) se evidenció que la incorporación de un extracto de cúrcuma (curcumina: 8 % p/p) a un snack de maíz (**Figura 17 A**), provoca una reducción de 0,4 Log UFC/g del recuento de hongos y levaduras a la novena semana de almacenamiento (snack almacenado a 28°C). Asimismo, en pescado se ha comprobado que la presencia de una nanoemulsión con extracto de cúrcuma (20 mg extracto/ 100 ml solución) provoca alrededor de 4,5 reducciones logarítmicas respecto del control, entre las 24 y 96 horas de almacenamiento (20°C) (**Figura 17 B**) (Foujdar et al., 2018).

El menor recuento microbiológico observado en las muestras de snack de maíz y pescado con extracto de cúrcuma (Foujdar et al., 2018; Rathnayaka et al., 2019) demuestra que la cúrcuma contiene compuestos bioactivos (principalmente curcumina) que retrasan la proliferación microbiana en alimentos, extendiendo su vida útil desde el punto de vista microbiológico.

V.4. Utilidad de la cúrcuma en la producción y formulación de alimentos

La cúrcuma es utilizada en la producción de alimentos principalmente como colorante, antioxidante e ingrediente funcional (Serpa Guerra et al., 2020). Como colorante la cúrcuma es incorporada en productos, tales como, galletas, salsas y gelatinas (Martins et al., 2016); no obstante, en ciertos productos como bebidas, postres y helados, la incorporación de cúrcuma puede generar sabores y aromas indeseados, por lo cual se reemplaza la cúrcuma por curcumina (Aranda et al., 2020). La curcumina no es utilizada únicamente como colorante, también es agregada a los alimentos como ingrediente funcional, lo que permite atraer la atención de los consumidores que buscan productos saludables que otorguen beneficios a la salud (Rafiee et al., 2019).

En la **Tabla 22** se expone diversos usos de la cúrcuma dentro de la producción y formulación de alimentos. El extracto de cúrcuma tiene el potencial de ser utilizado como antioxidante en productos tales como, aceites vegetales, productos horneados y embutidos, siendo una buena alternativa como reemplazo de antioxidantes sintéticos como el BHA y TBHQ.

Tabla 22: Utilización de la cúrcuma en la producción y formulación de alimentos

Forma de incorporación	Utilidad	Referencia
Aceite	Incorporación en biofilm otorgándole actividad antimicrobiana	(Mustapha et al., 2019)
Cúrcuma en polvo	Incorporación como ingrediente funcional en la formulación de queque	(Seo et al., 2010)
	Preservante en queso paneer, aumentando su vida útil	(Buch et al., 2014)
Extracto	Antioxidante en aceite de semillas de perilla (<i>Perilla frutescens</i>)	(K.-Y. Lee et al., 2020)
	Antioxidante en galletas	(Hefnawy et al., 2016)
	Antioxidante en salchichas	(de Carvalho et al., 2020)
	Incorporación en biofilm de quitosano aumentando su actividad antimicrobiana	(Kalaycıoğlu et al., 2017)
	Preservante con efecto sinérgico, junto al tratamiento térmico en autoclave (121°C) en platos listos para el consumo	(Gul & Bakht, 2015)
Hidrolizado	Fuente de azúcar para productos fermentados y antioxidante natural	(Queiroz et al., 2018)

La cúrcuma no solo tiene el potencial de ser utilizada como ingrediente en la formulación de alimentos, esta también puede ser incorporada en películas orgánicas como el quitosano, otorgándoles actividad antimicrobiana. En la investigación realizada por Tosati et al. (2018) se estudió la utilización del residuo de cúrcuma generado luego de la extracción de curcuminoides (CO₂ supercrítico y líquido presurizado) como materia prima para producir una película comestible con capacidad antimicrobiana (luego de una exposición a radiación UV), comprobándose en salchichas que a partir de este residuo se puede producir un film orgánico que puede ser utilizado en alimentos.

V.4.1. Efecto de la incorporación de cúrcuma sobre la oxidación en alimentos

En las **Figura 18** y **Figura 19** se puede observar el efecto de la incorporación de cúrcuma sobre la oxidación (índice de peróxidos y TBA) de diversos productos alimenticios. El extracto de cúrcuma permite reducir a un 39% (día 60) el índice de peróxidos en galletas respecto a la muestra control (Hefnawy et al., 2016), mientras que en el caso del queso paneer la adición de 0,6 p/p de cúrcuma reduce este índice a un 55% (día 12) (Buch et al., 2014). En pollo picado, 5000 ppm de cúrcuma en polvo permiten reducir el TBA (prueba del ácido tiobarbitúrico) a un 20% (día 6) respecto a la muestra control (pollo sin cúrcuma), mientras que en salchichas la incorporación de un extracto de cúrcuma provoca una reducción de un 84% (día 18), lo que evidencia su utilidad como antioxidante en alimentos procesados de origen animal (de Carvalho et al., 2020; Sharma et al., 2012).

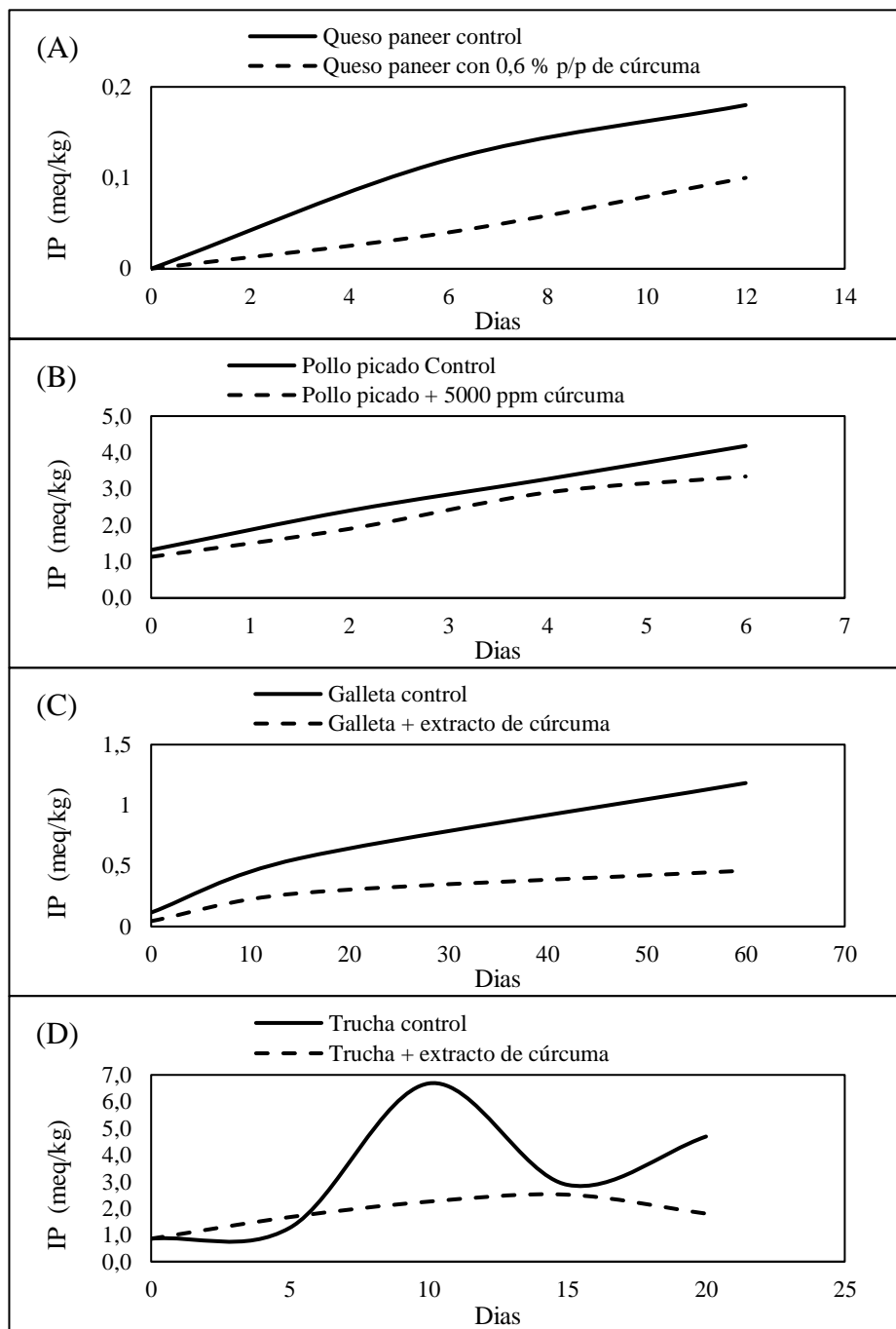


Figura 18: Efecto de la cúrcuma sobre el índice de peróxidos (elaboración propia)

(A): Envase PET/LDPE, 7°C (Buch et al., 2014)

(B): Envase LDPE, 4°C (Sharma et al., 2012)

(C): 20°C (Hefnawy et al., 2016)

(D) : Envase al vacío, 4°C (Pezeshk et al., 2011)

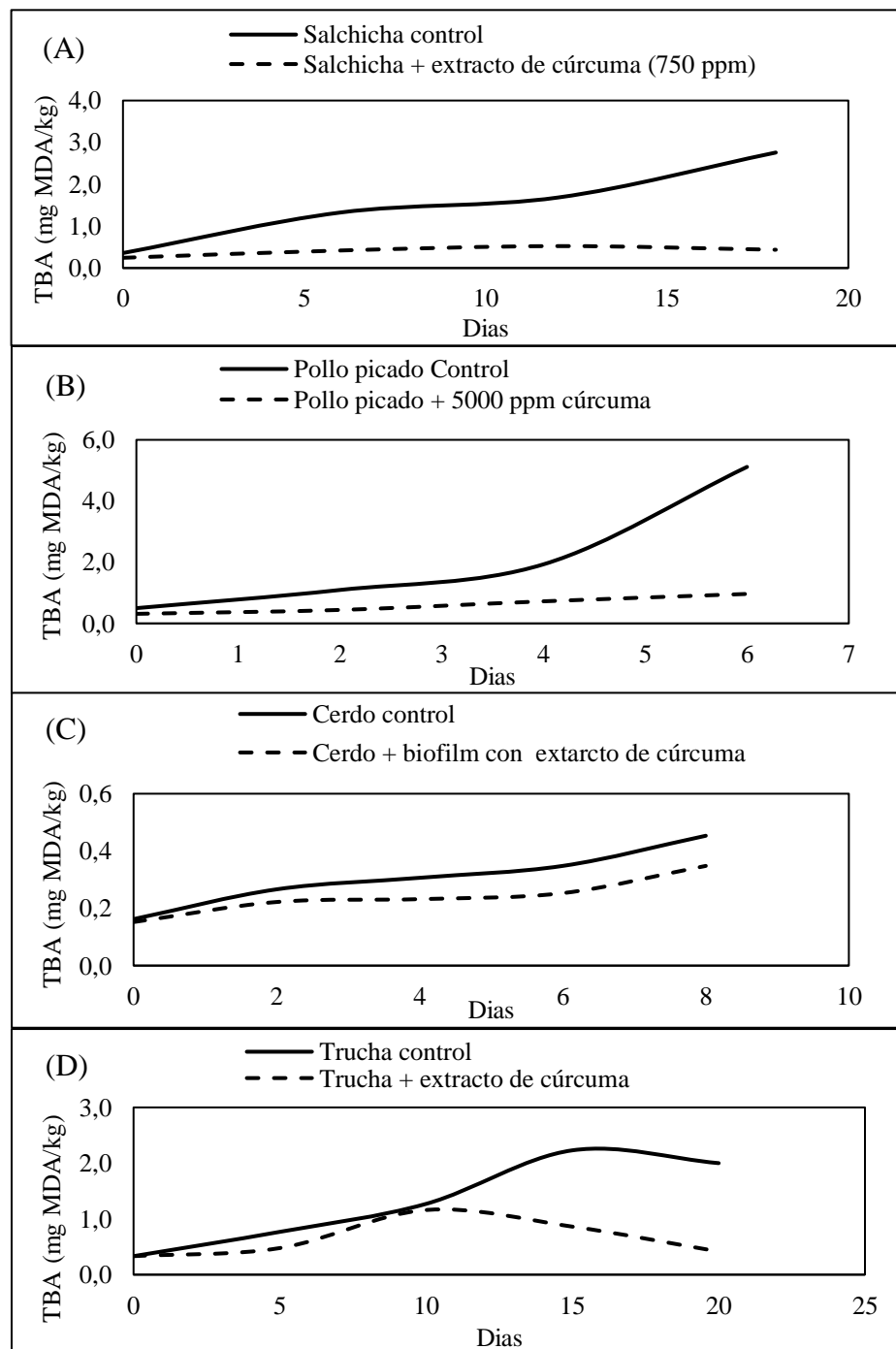


Figura 19: Efecto de la cúrcuma sobre el TBA (elaboración propia)
(A): Envase MAP (80% O₂, 20% CO₂), 2°C (de Carvalho et al., 2020)
(B): Envase LDPE, 4°C (Sharma et al., 2012)
(C): Envase de alginato, 4°C (Bojorges et al., 2020)
(D) : Envase al vacío, 4°C (Pezeshk et al., 2011)

V.4.2. Comercialización en Chile de productos alimenticios con cúrcuma o curcumina

En la actualidad se comercializan diversos productos alimenticios que tienen como ingrediente la cúrcuma o curcumina, observándose en la **Tabla 23** ejemplos de estos productos. La mostaza es uno de los productos con cúrcuma que se venden en Chile, más específicamente la mostaza Great Value, en la cual se indica que la cúrcuma corresponde a un condimento junto con la paprika. Otro de los productos con cúrcuma es el puré de papas fabricado por Maggi, que tiene incorporada la cúrcuma como especia.

La cúrcuma se encuentra incluida principalmente en productos salados, como una ensalada de atún con quínoa, mientras que en productos dulces se incorpora la curcumina. Respecto a los alimentos dulces con curcumina, se pueden mencionar ejemplos como el flan y el yogurt Chamyto de vainilla producidos por Nestlé, productos que indican que la curcumina es un colorante natural junto con el annato.

Tabla 23: Alimentos con cúrcuma o curcumina comercializados en Chile

Producto	Marca	Oferente	Precio
Mostaza (397g)		Great Value	Lider \$1690
Púre de papas (1kg)		Maggi	Lider \$4640
			Jumbo \$4739
Ensalada Atún con quínoa y cúrcuma (160 g)		Robinson Crusoe	Jumbo \$1999
Pollo cúrcuma acompañado de quinoa bicolor (340 g)		Frozen	Jumbo \$3743
Galletas crackers Tika cúrcuma (140 g)		Tika	Jumbo \$1609
**Flan Vainilla postre (110 g)		Nestlé	Lider \$310
**Yoghurt Batido con probióticos (115g)		Nestlé	Lider \$235

*Consulta realizada en internet el 04/12/2020

** Contiene curcumina

VI. CONCLUSIONES

La presente Tesis consistió en una revisión bibliográfica sobre la cúrcuma, considerando su procesamiento, propiedades funcionales y capacidad antimicrobiana.

El producto principal de la cúrcuma es el rizoma deshidratado en polvo, el cual es utilizado ampliamente en la gastronomía, sin embargo, a partir de la cúrcuma se puede extraer aceite, oleorresina y curcuminoides, productos que poseen un gran potencial comercial en la industria alimentaria y farmacéutica. Se han realizado diversas investigaciones relacionadas con el procesamiento de la cúrcuma, las cuales evidencian que la cúrcuma es una planta de la cual no solo se puede obtener un polvo deshidratado. Entre los productos no convencionales que se pueden obtener del procesamiento de la cúrcuma, sobresale la elaboración de un hidrogel a partir del residuo generado luego de la extracción de curcuminoides, el que puede ser aprovechado para fabricar películas biodegradables y comestibles.

El secado es un proceso fundamental dentro del manejo postcosecha de la cúrcuma, existiendo diversos métodos para realizarlo, los que determinan el tiempo de proceso y calidad del producto obtenido. El secado solar es una alternativa eficiente desde el punto de vista energético ya que aprovecha la energía solar, no obstante, conlleva un gran periodo de tiempo y provoca un cambio importante en el color de la cúrcuma.

De los métodos innovadores para deshidratar alimentos sobresale el secado mediante microondas, respecto al tiempo de procesamiento y contenido de curcuminoides en el producto final. Además, destaca la liofilización debido a que esta tecnología no provoca cambios importantes en el color de la cúrcuma deshidratada, lo cual evidencia una menor degradación de la curcumina (compuesto que le otorga el color característico a la cúrcuma).

La oleoresina de cúrcuma se obtiene luego de un proceso de extracción con solvente orgánico polar como el etanol y la acetona, reportándose rendimientos entre 6 y 13%, mientras que el aceite se puede obtener mediante técnicas como extracción con solvente (éter de petróleo), agua subcrítica o CO₂ supercrítico, siendo esta última la que permite lograr mayores rendimientos. Respecto a la extracción de curcuminoides, se han reportado diversas metodologías, destacando la extracción con líquido iónico asistida por ultrasonido o microondas, la cual en comparación con la extracción Soxhlet permite obtener un mayor rendimiento en un menor tiempo.

La cúrcuma posee diversos compuestos con actividad biológica, sin embargo, la mayoría de los estudios relacionados con las propiedades funcionales de la cúrcuma están asociados con la curcumina (principal curcuminoide junto con la demetoxicurcumina y bisdemetoxicurcumina), compuesto que resalta debido a su capacidad antiinflamatoria, anticancerígena y su potencial efecto preventivo de la diabetes tipo 2.

Además de los curcuminoides, la cúrcuma posee otros compuestos bioactivos como Ar-turmerona, furanodieno, y elemene, los cuales poseen principalmente actividad anticancerígena. Debido a lo anterior es posible afirmar que la incorporación de la cúrcuma a la dieta otorga potenciales beneficios a la salud humana; sin embargo, se deben realizar estudios sobre el impacto que tiene el procesamiento de la cúrcuma sobre la degradación y biodisponibilidad de estos compuestos bioactivos.

Diversos estudios han evaluado la capacidad antimicrobiana de la cúrcuma frente a bacterias y hongos de interés en la industria alimentaria, tales como, *Salmonella typhi* y *Aspergillus niger*, obteniendo como resultado una evidente actividad antimicrobiana, la cual ha sido demostrada en películas comestibles y productos alimenticios como pescado y snack de maíz. Esta actividad antimicrobiana permite extender la vida útil de los alimentos desde el punto de vista microbiológico, debido a que se reduce la proliferación de bacterias y hongos durante el almacenamiento de productos como pescado o un snack.

En el ámbito de la industria de alimentos, la cúrcuma es una materia prima cuya utilidad principal corresponde a su uso como colorante, otorgándole un color amarillo-anaranjado a los productos. Además de lo anterior, se ha comprobado que la cúrcuma es un potente antioxidante que puede ser utilizado en productos horneados como galletas, embutidos como salchichas y lácteos como el queso paner, por lo que es recomendable que la industria de alimentos reemplace antioxidantes sintéticos como el BHA por la cúrcuma en polvo o su extracto, en productos que no se vean afectados por su incorporación. En la actualidad se comercializan diversos productos alimenticios que contienen cúrcuma o curcumina, siendo utilizados principalmente como colorantes naturales, lo que demuestra la gran importancia de la cúrcuma en el ámbito de la industria de alimentos.

Respecto a las perspectivas futuras, este estudio expone información relevante sobre la funcionalidad de la cúrcuma, en cuanto a los beneficios a la salud que aporta su consumo y sus propiedades tecnológicas (antioxidante y antimicrobiano). Según lo anterior, es recomendable y conveniente que la industria alimentaria formule productos con cúrcuma, incorporándola no solo como colorante, sino que también como ingrediente funcional o antioxidante y preservante natural, reemplazando de este modo ingredientes sintéticos que tienen un potencial impacto negativo sobre la salud de los consumidores.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abuajah, C. I. (2019). *Functional Components and Medicinal Properties of Food BT - Bioactive Molecules in Food* (J.-M. Mérillon & K. G. Ramawat (Eds.); pp. 1343–1376). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6_39
- Adamczak, A., Ożarowski, M., & Karpiński, T. (2020). Curcumin, a Natural Antimicrobial Agent with Strain-Specific Activity. *Pharmaceuticals*, *13*(7), 153. <https://doi.org/10.3390/ph13070153>
- Afzal, A., Oriqat, G., Akram Khan, M., Jose, J., & Afzal, M. (2013). Chemistry and Biochemistry of Terpenoids from Curcuma and Related Species. *Journal of Biologically Active Products from Nature*, *3*(1), 1–55. <https://doi.org/10.1080/22311866.2013.782757>
- Agarwal, S., Mishra, R., Gupta, A. K., & Gupta, A. (2018). *Chapter 5 - Turmeric: isolation and synthesis of important biological molecules* (A. Tewari & S. B. T.-S. of M. A. from P. Tiwari (Eds.); pp. 105–125). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102071-5.00005-2>
- Altan, A., & Maskan, M. (2005). Microwave assisted drying of short-cut (ditalini) macaroni: Drying characteristics and effect of drying processes on starch properties. *Food Research International*, *38*(7), 787–796. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.006>
- Aranda, M. D., Silva, E. K., Olmos Cornejo, J. E., & Orozco Lopez, C. L. B. T.-R. M. in F. S. (2020). *Green Processes in Foodomics: Biorefineries in the Food Industry*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22821-7>
- Attokaran Mathew. (2017). *Natural Food Flavors and Colorants* (Second (Ed.)). Wiley-Blackwell.
- Balasubramanian, S., Roselin, P., Singh, K. K., Zachariah, J., & Saxena, S. N. (2016). Postharvest Processing and Benefits of Black Pepper, Coriander, Cinnamon, Fenugreek, and Turmeric Spices. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *56*(10), 1585–1607. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.759901>
- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibsouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, *6*(2), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>

- Barve, A., Khor, T. O., Hao, X., Keum, Y.-S., Yang, C. S., Reddy, B., & Kong, A.-N. T. (2008). Murine Prostate Cancer Inhibition by Dietary Phytochemicals—Curcumin and Phenylethylisothiocyanate. *Pharmaceutical Research*, 25(9), 2181–2189. <https://doi.org/10.1007/s11095-008-9574-7>
- Bezbaruah, B. J., & Hazarika, M. K. (2014). Generalization of temperature and thickness effects in kinetic studies of turmeric (*Curcuma longa*) slices drying. *International Food Research Journal*, 21, 1529–1532.
- Bhunia, A. (2008). *Foodborne Microbial Pathogens*. Springer-Verlag New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74537-4>
- Bhunia, A. K. (2018). *Escherichia coli BT - Foodborne Microbial Pathogens: Mechanisms and Pathogenesis* (A. K. Bhunia (Ed.); pp. 249–269). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7349-1_14
- Bojorges, H., Ríos-Corripio, M. A., Hernández-Cázares, A. S., Hidalgo-Contreras, J. V., & Contreras-Oliva, A. (2020). Effect of the application of an edible film with turmeric (*Curcuma longa* L.) on the oxidative stability of meat. *Food Science & Nutrition*, 8(8), 4308–4319. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1728>
- Borah, A., Hazarika, K., & Khayer, S. M. (2015). Drying kinetics of whole and sliced turmeric rhizomes (*Curcuma longa* L.) in a solar conduction dryer. *Information Processing in Agriculture*, 2(2), 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.06.002>
- Borah, A., Sethi, L. N., Sarkar, S., & Hazarika, K. (2017a). Effect of Drying on Texture and Color Characteristics of Ginger and Turmeric in a Solar Biomass Integrated Dryer. *Journal of Food Process Engineering*, 40(1), e12310. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12310>
- Borah, A., Sethi, L., Sarkar, S., & Hazarika, K. (2017b). Drying Kinetics of Sliced Turmeric (*Curcuma longa* L.) in a Solar-Biomass Integrated Drying System. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12904>
- Braga, M. C., Vieira, E. C. S., & de Oliveira, T. F. (2018). *Curcuma longa* L. leaves: Characterization (bioactive and antinutritional compounds) for use in human food in Brazil. *Food Chemistry*, 265, 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.096>
- Buch, S., Pinto, S., & Aparnathi, K. D. (2014). Evaluation of efficacy of turmeric as a preservative in paneer. *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 3226–3234. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0871-0>

- Capasso, F., Grandolini, G., & Izzo, A. (2006). *Fitoterapia* (3rd ed.). Springer-Verlag Mailand.
- Carvalho, P. I. N., Osorio-Tobón, J. F., Rostagno, M. A., Petenate, A. J., & Meireles, M. A. A. (2015). Techno-economic evaluation of the extraction of turmeric (*Curcuma longa* L.) oil and ar-turmerone using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, *105*, 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.03.020>
- Centre for the Promotion of Imports from developing countries (CBI). (2020). *The European market potential for turmeric*. <https://www.cbi.eu/market-information/natural-ingredients-health-products/turmeric/market-potential#:~:text=European imports of turmeric increased,to Europe increased by 112%25>.
- Chang, L.-H., Jong, T.-T., Huang, H.-S., Nien, Y.-F., & Chang, C.-M. J. (2006). Supercritical carbon dioxide extraction of turmeric oil from *Curcuma longa* Linn and purification of turmerones. *Separation and Purification Technology*, *47*(3), 119–125. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.06.018>
- Chuengsamarn, S., Rattanamongkolgul, S., Luechapudiporn, R., Phisalaphong, C., & Jirawatnotai, S. (2012). Curcumin extract for prevention of type 2 diabetes. *Diabetes Care*, *35*(11), 2121–2127. <https://doi.org/10.2337/dc12-0116>
- Coronel-Delgado, A., Ciro-Velásquez, H., & Restrepo-Molina, D. (2017). Spray drying of liquid extracts of curcumin: process performance and product quality properties. *Ingeniería Y Competitividad*, *19*(1), 219–229.
- de Carvalho, F., Munekata, P. E. S., Lopes de Oliveira, A., Pateiro, M., Domínguez, R., Trindade, M. A., & Lorenzo, J. M. (2020). Turmeric (*Curcuma longa* L.) extract on oxidative stability, physicochemical and sensory properties of fresh lamb sausage with fat replacement by tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) oil. *Food Research International*, *136*, 109487. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109487>
- El-Moselhy, M. A., Taye, A., Sharkawi, S. S., El-Sisi, S. F. I., & Ahmed, A. F. (2011). The antihyperglycemic effect of curcumin in high fat diet fed rats. Role of TNF- α and free fatty acids. *Food and Chemical Toxicology*, *49*(5), 1129–1140. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.02.004>
- Erkmen, O., & Bozoglu, T. (Eds.). (2016). Types of Microorganisms in Foods. In *Food Microbiology: Principles into Practice* (pp. 35–80). <https://doi.org/10.1002/9781119237860.ch3>
- Fellows, P. J. (2000). *FOOD PROCESSING TECHNOLOGY* (2nd ed.). Woodhead Publishing Limited.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2004). *TUMERIC Post-harvest Operations Compendium*.
- Foujdar, R., Chopra, H. K., & Bera, M. B. (2018). Optimization and production of turmeric extract-based nanoemulsion (TEBN) and its application in preservation of fatty fish fillet. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(9), e13750. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13750>
- Gantait, A., Barman, T., & Mukherjee, P. (2011). Validated method for estimation of curcumin in turmeric powder. *IJTK*, 10, 247–250.
- Giménez, P. J., Fernández-López, J. A., Angosto, J. M., & Obón, J. M. (2015). Comparative Thermal Degradation Patterns of Natural Yellow Colorants Used in Foods. *Plant Foods for Human Nutrition*, 70(4), 380–387. <https://doi.org/10.1007/s11130-015-0499-0>
- Giordano, A., & Tommonaro, G. (2019). Curcumin and Cancer. *Nutrients*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/nu11102376>
- Gordon, A. (2020). *Chapter 9 - Market & technical considerations for spices: Nutmeg & Mace case study* (A. B. T.-F. S. and Q. S. in D. C. Gordon (Ed.); pp. 367–414). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814272-1.00009-7>
- Green, C. E., Hibbert, S. L., Bailey-Shaw, Y. A., Williams, L. A. D., Mitchell, S., & Garraway, E. (2008). Extraction, processing, and storage effects on curcuminoids and oleoresin yields from *Curcuma longa* L. grown in Jamaica. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(10), 3664–3670. <https://doi.org/10.1021/jf073105v>
- Gul, P., & Bakht, J. (2015). Antimicrobial activity of turmeric extract and its potential use in food industry. *Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 2272–2279. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1195-4>
- Gupta, A., Mahajan, S., & Sharma, R. (2015). Evaluation of antimicrobial activity of *Curcuma longa* rhizome extract against *Staphylococcus aureus*. *Biotechnology Reports*, 6, 51–55. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2015.02.001>
- Haldar, S., Majumdar, G. C., & Mishra, H. N. (2015). Modeling the kinetics of extracting oleoresin from dried turmeric (*Curcuma longa* L.) rhizome using acetone as solvent. *Journal of Food Engineering*, 146, 116–121. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.009>

- Haldar, S., Mishra, H. N., & Majumdar, G. C. (2016). Optimization of Oleoresin Extraction from *Curcuma longa* L. Using RSM and Determination of Equilibrium Constant. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(6), 1188–1198. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12701>
- Hay, E., Lucariello, A., Contieri, M., Esposito, T., De Luca, A., Guerra, G., & Perna, A. (2019). Therapeutic effects of turmeric in several diseases: An overview. *Chemico-Biological Interactions*, 310, 108729. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2019.108729>
- Hefnawy, H. T., El-Shourbagy, G. A., & Ramadan, M. F. (2016). Phenolic extracts of carrot, grape leaf and turmeric powder: antioxidant potential and application in biscuits. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(3), 576–583. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9339-7>
- Hirun, S., Utama-ang, N., & Roach, P. (2014). Turmeric (*Curcuma longa* L.) drying: an optimization approach using microwave-vacuum drying. *Journal of Food Science and Technology*, 51. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0709-9>
- Hmar, B. Z., Kalita, D., & Srivastava, B. (2017). Optimization of microwave power and curing time of turmeric rhizome (*Curcuma Longa* L.) based on textural degradation. *LWT - Food Science and Technology*, 76, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.044>
- Hodaie, H., Adibian, M., Nikpayam, O., Hedayati, M., & Sohrab, G. (2019). The effect of curcumin supplementation on anthropometric indices, insulin resistance and oxidative stress in patients with type 2 diabetes: a randomized, double-blind clinical trial. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 11(1), 41. <https://doi.org/10.1186/s13098-019-0437-7>
- Huang, D., Men, K., Li, D., Wen, T., Gong, Z., Sunden, B., & Wu, Z. (2020). Application of ultrasound technology in the drying of food products. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63, 104950. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104950>
- Ikpeama, A., Onwuka, G., & Nwankwo, C. (2014). Nutritional Composition of Turmeric (*Curcuma longa*) and its Antimicrobial Properties. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 5, 1085 – 1089.
- Ilangovan, M., Guna, V., Hu, C., Nagananda, G. S., & Reddy, N. (2018). *Curcuma longa* L. plant residue as a source for natural cellulose fibers with antimicrobial activity. *Industrial Crops and Products*, 112, 556–560. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.042>
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods. (2018). *Microorganisms in Foods* 7. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68460-4>

- Jayaprakasha, G. K., Jagan Mohan Rao, L., & Sakariah, K. K. (2005). Chemistry and biological activities of *C. longa*. *Trends in Food Science & Technology*, *16*(12), 533–548. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.08.006>
- Jayashree, E., Zachariah, T. J., & Rakhi, R. (2018). Comparison of quality of dry turmeric (*Curcuma longa*) produced by slicing and other curing methods. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, *27*(2), 138–144. <https://doi.org/10.25081/josac.2018.v27.i2.1102>
- Ji, M., Choi, J., Lee, J., & Lee, Y. (2004). Induction of apoptosis by ar-turmerone on various cell lines. *International Journal of Molecular Medicine*, *14*(2), 253–256. <http://europepmc.org/abstract/MED/15254774>
- Kalaycıoğlu, Z., Torlak, E., Akın-Evingür, G., Özen, İ., & Erim, F. B. (2017). Antimicrobial and physical properties of chitosan films incorporated with turmeric extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, *101*, 882–888. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.174>
- Karthikeyan, A. K., & Somasundaram, M. (2018). Thin layer drying kinetics and exergy analysis of turmeric (*Curcuma longa*) in a mixed mode forced convection solar tunnel dryer. *Renewable Energy*, *128*, 305–312. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.05.061>
- Kasta, G. (2020). Antimicrobial Activity of Ethanol Extract of Rhizome Turmeric (*Curcuma Longa* L.) For Growth of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans*. *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development*, *8*, 5–8. <https://doi.org/10.22270/ajprd.v8i3.712>
- Khadhraoui, B., Fabiano-Tixier, A.-S., Robinet, P., Imbert, R., & Chemat, F. (2019). *2 - Ultrasound technology for food processing, preservation, and extraction* (F. Chemat & E. B. T.-G. F. P. T. Vorobiev (Eds.); pp. 23–56). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815353-6.00002-1>
- Killian, P. H., Kronski, E., Michalik, K. M., Barbieri, O., Astigiano, S., Sommerhoff, C. P., Pfeffer, U., Nerlich, A. G., & Bachmeier, B. E. (2012). Curcumin inhibits prostate cancer metastasis in vivo by targeting the inflammatory cytokines CXCL1 and -2. *Carcinogenesis*, *33*(12), 2507–2519. <https://doi.org/10.1093/carcin/bgs312>
- Kocal, G. (2019). Anticancer Efficiency of Curcumin on Ovarian Cancer. *Journal of Basic and Clinical Health Sciences*, *3*, 78–82. <https://doi.org/10.30621/jbachs.2019.610>
- Kumavat, S., Chaudhari, Y., Borole, P., Mishra, P., Shenghani, K., & Duvvuri, P. (2013). Degradation studies of curcumin. *International Journal of Pharmacy Review & Research*, *3*, 50–55.

- Kurmudle, N., Kagliwal, L. D., Bankar, S. B., & Singhal, R. S. (2013). Enzyme-assisted extraction for enhanced yields of turmeric oleoresin and its constituents. *Food Bioscience*, *3*, 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2013.06.001>
- Kuttigounder, D., Lingamallu, J. R., & Bhattacharya, S. (2011). Turmeric Powder and Starch: Selected Physical, Physicochemical, and Microstructural Properties. *Journal of Food Science*, *76*(9), C1284–C1291. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02403.x>
- Lee, K.-Y., Gul, K., Kim, A.-N., Rahman, M. S., Lee, M. H., Kim, J. I., Kwak, D., Shin, E.-C., Kim, H.-J., Kerr, W. L., & Choi, S.-G. (2020). Impact of supercritical carbon dioxide turmeric extract on the oxidative stability of perilla oil. *International Journal of Food Science & Technology*, *55*(1), 183–191. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14261>
- Lee, S., Garcia, C. V, Hong, S. J., Shin, G. H., & Kim, J. T. (2019). Production of turmeric extract-loaded nanoemulsions at the laboratory-scale and pilot-scale: Comparison of processing conditions and properties. *Journal of Food Engineering*, *261*, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.06.004>
- Li, S., Yuan, W., Deng, G., Wang, P., & Aggarwal, B. (2011). Chemical composition and product quality control of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Pharmaceutical Crops*, 28–54. <https://doi.org/10.2174/2210290601102010028>
- Li, Y.-W., Zhu, G.-Y., Shen, X.-L., Chu, J.-H., Yu, Z.-L., & Fong, W.-F. (2011). Furanodienone induces cell cycle arrest and apoptosis by suppressing EGFR/HER2 signaling in HER2-overexpressing human breast cancer cells. *Cancer Chemotherapy and Pharmacology*, *68*(5), 1315–1323. <https://doi.org/10.1007/s00280-011-1624-x>
- Liang, H., Wang, W., Xu, J., Zhang, Q., Shen, Z., Zeng, Z., & Li, Q. (2017). Optimization of ionic liquid-based microwave-assisted extraction technique for curcuminoids from *Curcuma longa* L. *Food and Bioproducts Processing*, *104*, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.04.003>
- Lim, T. K. (2016). *Curcuma longa*. In *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants: Volume 12 Modified Stems, Roots, Bulbs* (pp. 241–362). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26065-5_14
- Liu, C., Chen, W., Wang, N., & Jin, J. (2018). Optimization of extraction of antioxidants from turmeric (*Curcuma longa* L.) using response surface methodology. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, *23*(1), 63–69. <https://doi.org/10.1007/s11859-018-1295-0>

- Lokhande, S. M., Kale, R. V., Sahoo, A. K., & Ranveer, R. C. (2013). Effect of curing and drying methods on recovery, curcumin and essential oil content of different cultivars of turmeric (*Curcuma longa* L). *International Food Research Journal*, 20(2), 745–749.
- Ludwiczuk, A., Skalicka-Woźniak, K., & Georgiev, M. I. (2017). Chapter 11 - Terpenoids (S. Badal & R. B. T.-P. Delgoda (Eds.); pp. 233–266). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802104-0.00011-1>
- Mahran, R. I., Hagra, M. M., Sun, D., & Brenner, D. E. (2017). Bringing Curcumin to the Clinic in Cancer Prevention: a Review of Strategies to Enhance Bioavailability and Efficacy. *The AAPS Journal*, 19(1), 54–81. <https://doi.org/10.1208/s12248-016-0003-2>
- Maithili Karpaga Selvi, N., Sridhar, M. G., Swaminathan, R. P., & Sripradha, R. (2015). Efficacy of Turmeric as Adjuvant Therapy in Type 2 Diabetic Patients. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 30(2), 180–186. <https://doi.org/10.1007/s12291-014-0436-2>
- Majumdar, A. P. N. (2019). Chapter 12 - Preclinical animal tumor models to study prevention of colon cancer recurrence by curcumin. In A. Azmi & R. M. Mohammad (Eds.), *Animal Models in Cancer Drug Discovery* (pp. 293–307). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814704-7.00012-X>
- Malacrida, C. R., Ferreira, S., Zuanon, L. A. C., & Nicoletti Telis, V. R. (2015). Freeze-Drying for Microencapsulation of Turmeric Oleoresin Using Modified Starch and Gelatin. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1710–1719. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12402>
- Manzan, A. C. C. M., Toniolo, F. S., Bredow, E., & Povh, N. P. (2003). Extraction of Essential Oil and Pigments from *Curcuma longa* [L.] by Steam Distillation and Extraction with Volatile Solvents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(23), 6802–6807. <https://doi.org/10.1021/jf030161x>
- Martins, N., Roriz, C. L., Morales, P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. *Trends in Food Science & Technology*, 52, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.009>
- Martins, R. M., Pereira, S. V., Siqueira, S., Salomão, W. F., & Freitas, L. A. P. (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>

- Meng, F.-C., Zhou, Y.-Q., Ren, D., Wang, R., Wang, C., Lin, L.-G., Zhang, X.-Q., Ye, W.-C., & Zhang, Q.-W. (2018). Chapter 10 - Turmeric: A Review of Its Chemical Composition, Quality Control, Bioactivity, and Pharmaceutical Application. In A. M. Grumezescu & A. M. B. T.-N. and A. F. A. and F. D. Holban (Eds.), *Handbook of Food Bioengineering* (pp. 299–350). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811518-3.00010-7>
- Monton, C., Luprasong, C., & Charoenchai, L. (2019a). Convection combined microwave drying affect quality of volatile oil compositions and quantity of curcuminoids of turmeric raw material. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 29(4), 434–440. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2019.04.006>
- Monton, C., Luprasong, C., & Charoenchai, L. (2019b). Acceleration of turmeric drying using convection and microwave-assisted drying technique: An optimization approach. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(9), e14096. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14096>
- Mottahedin, P., Haghghi Asl, A., & Khajenoori, M. (2017). Extraction of Curcumin and Essential Oil from *Curcuma longa* L. by Subcritical Water via Response Surface Methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), e13095. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13095>
- Mulet, A., Blasco, M., García-Reverter, J., & García-Pérez, J. (2005). Drying Kinetics of *Curcuma longa* Rhizomes. *Journal of Food Science*, 70(5), E318–E323. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09971.x>
- Mustapha, F. A., Jai, J., Nik Raikhan, N. H., Sharif, Z. I. M., & Yusof, N. M. (2019). Response surface methodology analysis towards biodegradability and antimicrobial activity of biopolymer film containing turmeric oil against *Aspergillus niger*. *Food Control*, 99, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.12.042>
- Na, L.-X., Li, Y., Pan, H.-Z., Zhou, X.-L., Sun, D.-J., Meng, M., Li, X.-X., & Sun, C.-H. (2013). Curcuminoids exert glucose-lowering effect in type 2 diabetes by decreasing serum free fatty acids: a double-blind, placebo-controlled trial. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(9), 1569–1577. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200131>
- Nagarajan, S., Kubra, I. R., & Rao, L. J. M. (2010). Separation of Curcuminoids Enriched Fraction from Spent Turmeric Oleoresin and Its Antioxidant Potential. *Journal of Food Science*, 75(6), H158–H162. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01696.x>
- Nair, A., Amalraj, A., Jacob, J., Kunnumakkara, A., & Gopi, S. (2019). Non-Curcuminoids from Turmeric and Their Potential in Cancer Therapy and Anticancer Drug Delivery Formulations. *Biomolecules*. <https://doi.org/10.3390/biom9010013>

- Nair, K. P. (2019). *Turmeric (Curcuma longa L.) and Ginger (Zingiber officinale Rosc.)- World's Invaluable Medicinal Spices* (1st ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-29189-1>
- Oke, E. O., Okolo, B. I., Nwosu-Obieogu, K., Osoh, K. O., & Udeh, C. J. (2020). Optimizing proximate composition of dried turmeric rhizome in a tray dryer using response surface technique. *International Journal of Engineering*, 18(3), 113–126.
- Orsat, V., Raghavan, G. S. V., & Krishnaswamy, K. (2017). 5 - Microwave technology for food processing: An overview of current and future applications. In M. Regier, K. Knoerzer, & H. B. T.-T. M. P. of F. (Second E. Schubert (Eds.), *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition* (pp. 100–116). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100528-6.00005-X>
- Osorio-Tobón, J., Carvalho, P. I., Rostagno, M., Petenate, A., & Meireles, M. A. (2014). Extraction of curcuminoids from deflavored turmeric (*Curcuma longa L.*) using pressurized liquids: Process integration and economic evaluation. *The Journal of Supercritical Fluids*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.08.012>
- Osorio-Tobón, J. F., Carvalho, P. I. N., Rostagno, M. A., & Meireles, M. A. A. (2016). Process integration for turmeric products extraction using supercritical fluids and pressurized liquids: Economic evaluation. *Food and Bioproducts Processing*, 98, 227–235. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.02.001>
- Oyarzabal, O. A., & Backert, S. (Eds.). (2012). *Microbial Food Safety* (1st ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1177-2>
- Padmanaban, G., & Nagaraj, V. A. (2018). Chapter 6 - Curcumin From Turmeric as an Adjunct Drug? (Atta-ur-Rahman (Ed.); Vol. 57, pp. 179–202). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64057-4.00006-5>
- Panpatil, V., Tattari, S., Kota, N., Nimgulkar, C., & Polasa, K. (2013). In vitro evaluation of antioxidant and antimicrobial activity of spice extracts of ginger, turmeric and garlic. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2, 143–148.
- Patel, S. S., Acharya, A., Ray, R. S., Agrawal, R., Raghuwanshi, R., & Jain, P. (2019). Ck. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(6), 887–939. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1552244>

- Patra, J. K., Das, G., Lee, S., Kang, S.-S., & Shin, H.-S. (2018). Selected commercial plants: A review of extraction and isolation of bioactive compounds and their pharmacological market value. *Trends in Food Science & Technology*, 82, 89–109. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.10.001>
- Paul, B., Munshi, M., Ahmed, M., Saha, G., & Roy, S. (2011). The Fatty Acid Composition and Properties of Oil Extracted from Fresh Rhizomes of Turmeric (*Curcuma longa* Linn.) Cultivars of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*.
- Pezeshk, S., Rezaei, M., & Hosseini, H. (2011). Effects of Turmeric, Shallot Extracts, and Their Combination on Quality Characteristics of Vacuum-Packaged Rainbow Trout Stored at 4 ± 1 °C. *Journal of Food Science*, 76(6), M387–M391. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02242.x>
- Pianpumepong, P., & Noomhorm, A. (2010). Isolation of probiotic bacteria from turmeric (*Curcuma longa* Linn.) and its application in enriched beverages. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(12), 2456–2462. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02337.x>
- Picone, P., Nuzzo, D., Caruana, L., Messina, E., Scafidi, V., & Di Carlo, M. (2014). Curcumin induces apoptosis in human neuroblastoma cells via inhibition of AKT and Foxo3a nuclear translocation. *Free Radical Research*, 48(12), 1397–1408. <https://doi.org/10.3109/10715762.2014.960410>
- Prasad, S., & Aggarwal, B. (2011). Turmeric, the Golden Spice: From Traditional Medicine to Modern Medicine. In I. Benzie & S. Watchel-Galor (Eds.), *Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects* (2nd ed.). CRC Press/Taylor & Francis.
- Prasanna, R., Chinnakonda Chandramoorthy, H., Ramaiyapillai, P., & Sakthisekaran, D. (2011). In vitro evaluation of anticancer effect of *Cassia auriculata* leaf extract and curcumin through induction of apoptosis in human breast and larynx cancer cell lines. *Biomedicine & Preventive Nutrition*, 1(2), 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.bionut.2010.12.006>
- Priyadarsini, I. K. (2014). The Chemistry of Curcumin: From Extraction to Therapeutic Agent. In *Molecules* (Vol. 19, Issue 12). <https://doi.org/10.3390/molecules191220091>
- Queiroz, M. A. de, Almeida, F. G. de, Terhaag, M. M., Oliveira, A. G. de, Rocha, T. de S., & Spinosa, W. A. (2018). *Curcuma longa* L.- and *Piper nigrum*-based hydrolysate, with high dextrose content, shows antioxidant and antimicrobial properties. *LWT*, 96, 386–394. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.018>

- Rafiee, Z., Nejatian, M., Daeihamed, M., & Jafari, S. M. (2019). Application of curcumin-loaded nanocarriers for food, drug and cosmetic purposes. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 445–458. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.017>
- Ramirez, L., & Castaño, D. (2009). METODOLOGIAS PARA EVALUAR IN VITRO LA ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA DE COMPUESTOS DE ORIGEN VEGETAL. *Scientia Et Technica*, XV, 263–268. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84916714049>
- Rani, V., & Yadav, U. (Eds.). (2018). *Functional Food and Human Health* (1st ed.). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-1123-9>
- Rathnayaka, P., Madhusankha, M., & Perera, O. D. A. N. (2019). *Curcumin Ethanolic Extraction and Its' Stability in Food Applications*. <https://doi.org/10.1109/FITI49428.2019.9037640>
- Reddi, P. (2013). A Touch of Turmeric: Examining an Ayurvedic Treasure. *Advances in Anthropology*, 3(2), 91–95. <https://doi.org/10.4236/aa.2013.32012>
- Rivera-Mancía, S., Trujillo, J., & Chaverri, J. P. (2018). Utility of curcumin for the treatment of diabetes mellitus: Evidence from preclinical and clinical studies. *Journal of Nutrition & Intermediary Metabolism*, 14, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.jnim.2018.05.001>
- Sanlier, N., & Gencer, F. (2020). Role of spices in the treatment of diabetes mellitus: A minireview. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 441–449. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.018>
- Sasikumar, B. (2012). 28 - Turmeric. In K. V Peter (Ed.), *Handbook of Herbs and Spices (Second Edition)* (Second Edi, pp. 526–546). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857095671.526>
- Seo, M. J., Park, J. E., & Jang, M. S. (2010). Optimization of sponge cake added with turmeric (*Curcuma longa* L.) powder using mixture design. *Food Science and Biotechnology*, 19(3), 617–625. <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0087-x>
- Serpa Guerra, A. M., Gómez Hoyos, C., Velásquez-Cock, J. A., Vélez Acosta, L., Gañán Rojo, P., Velásquez Giraldo, A. M., & Zuluaga Gallego, R. (2020). The nanotech potential of turmeric (*Curcuma longa* L.) in food technology: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(11), 1842–1854. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1604490>
- Sharma, J., Ponnusamy Pazhaniandi, P., Tanwar, V. K., Das, S. K., & Goswami, M. (2012). Antioxidant effect of turmeric powder, nitrite and ascorbic acid on stored chicken mince. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(1), 61–66. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02807.x>

- Shemesh, N., & Arber, N. (2014). Curcumin Alone and in Combination for Prevention of Colorectal Cancer. *Current Colorectal Cancer Reports*, 10(1), 62–67. <https://doi.org/10.1007/s11888-013-0207-0>
- Shytle, R. D., Bickford, P. C., Rezai-zadeh, K., Hou, L., Zeng, J., Tan, J., Sanberg, P. R., Sanberg, C. D., Roschek, B. J., Fink, R. C., & Alberte, R. S. (2009). Optimized turmeric extracts have potent anti-amyloidogenic effects. *Current Alzheimer Research*, 6(6), 564–571. <https://doi.org/10.2174/156720509790147115>
- Sierra y Selva Exportadora. (2020). *Análisis de mercado - jengibre y cúrcuma 2020 - SIERRA Y SELVA EXPORTADORA*. https://issuu.com/exportadorasierrayselva/docs/jengibre-curcuma_2020
- Silva, A., Santos, P. D. de F., Silva, J. T. do P., Leimann, F. V., Bracht, L., & Gonçalves, O. H. (2018). Impact of curcumin nanoformulation on its antimicrobial activity. *Trends in Food Science & Technology*, 72, 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.004>
- Silva, L. V., Nelson, D. L., Drummond, M. F. B., Dufossé, L., & Glória, M. B. A. (2005). Comparison of hydrodistillation methods for the deodorization of turmeric. *Food Research International*, 38(8), 1087–1096. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.025>
- Singh, G., Arora, S., & Kumar, S. (2010). Effect of mechanical drying air conditions on quality of turmeric powder. *Journal of Food Science and Technology*, 47(3), 347–350. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0057-6>
- Sobel, R., Versic, R., & Gaonkar, A. G. (2014). *Chapter 1 - Introduction to Microencapsulation and Controlled Delivery in Foods* (A. G. Gaonkar, N. Vasisht, A. R. Khare, & R. B. T.-M. in the F. I. Sobel (Eds.); pp. 3–12). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404568-2.00001-7>
- Stanić, Z. (2017). Curcumin, a Compound from Natural Sources, a True Scientific Challenge – A Review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0590-1>
- Surendhar, A., Sivasubramanian, V., Vidhyeswari, D., & Deepanraj, B. (2019). Energy and exergy analysis, drying kinetics, modeling and quality parameters of microwave-dried turmeric slices. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136(1), 185–197. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7791-9>
- Tao, J., Li, Y., Li, S., & Li, H.-B. (2018). Plant foods for the prevention and management of colon cancer. *Journal of Functional Foods*, 42, 95–110. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.064>
- Taskin, O., & Izli, N. (2019). Effect of Microwave, Infrared and Freeze Drying Methods on Drying Kinetics, Effective Moisture Diffusivity and Color Properties of Turmeric. *Journal of Agricultural Sciences*, 25(3), 334–345. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.439434>

- Thakur, M., Virk, R., Singh, P., & Saxena, V. (2019). The Effects of Turmeric on Alzheimer’s Patients. *Journal of Food Science and Nutrition Research*, 2(4), 347–343. <https://doi.org/10.26502/jfsnr.2642-11000033>
- Thongson, C., Davidson, P. M., Mahakarnchanakul, W., & Vibulsresth, P. (2005). Antimicrobial effect of Thai spices against *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* DT104. *Journal of Food Protection*, 68(10), 2054–2058. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-68.10.2054>
- Toledo, R., Singh, R., & Kong, F. (2018). *Fundamentals of Food Process Engineering* (4th ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90098-8>
- Tosati, J. V., de Oliveira, E. F., Oliveira, J. V., Nitin, N., & Monteiro, A. R. (2018). Light-activated antimicrobial activity of turmeric residue edible coatings against cross-contamination of *Listeria innocua* on sausages. *Food Control*, 84, 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.07.026>
- Valizadeh, M., Najafpour-Darzi, G., Rahimnejad, M., Moghadamnia, A. A., & Valizadeh Kiamahalleh, M. (2016). High performance curcumin subcritical water extraction from turmeric (*Curcuma longa* L.). *Journal of Chromatography B*, 1022, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2016.04.021>
- Wakte, P. S., Sachin, B. S., Patil, A. A., Mohato, D. M., Band, T. H., & Shinde, D. B. (2011). Optimization of microwave, ultra-sonic and supercritical carbon dioxide assisted extraction techniques for curcumin from *Curcuma longa*. *Separation and Purification Technology*, 79(1), 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.03.010>
- Wickenberg, J., Ingemansson, S. L., & Hlebowicz, J. (2010). Effects of *Curcuma longa* (turmeric) on postprandial plasma glucose and insulin in healthy subjects. *Nutrition Journal*, 9(1), 43. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-9-43>
- Xia, Z., Zhang, S., Chen, Y., Li, K., Chen, W., & Liu, Y. (2020). Curcumin anti-diabetic effect mainly correlates with its anti-apoptotic actions and PI3K/Akt signal pathway regulation in the liver. *Food and Chemical Toxicology*, 146, 111803. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111803>
- Xu, J., Wang, W., Liang, H., Zhang, Q., & Li, Q. (2015). Optimization of ionic liquid based ultrasonic assisted extraction of antioxidant compounds from *Curcuma longa* L. using response surface methodology. *Industrial Crops and Products*, 76, 487–493. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.025>

- Yang, C.-L., Liu, Y.-Y., Ma, Y.-G., Xue, Y.-X., Liu, D.-G., Ren, Y., Liu, X.-B., Li, Y., & Li, Z. (2012). Curcumin blocks small cell lung cancer cells migration, invasion, angiogenesis, cell cycle and neoplasia through Janus kinase-STAT3 signalling pathway. *PLoS One*, 7(5), e37960. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037960>
- Yang, Q.-Q., Cheng, L.-Z., Zhang, T., Yaron, S., Jiang, H.-X., Sui, Z.-Q., & Corke, H. (2020). Phenolic profiles, antioxidant, and antiproliferative activities of turmeric (*Curcuma longa*). *Industrial Crops and Products*, 152, 112561. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112561>
- Yue, G. G.-L., Jiang, L., Kwok, H.-F., Lee, J. K.-M., Chan, K.-M., Fung, K.-P., Leung, P.-C., & Lau, C. B.-S. (2016). Turmeric ethanolic extract possesses stronger inhibitory activities on colon tumour growth than curcumin – The importance of turmerones. *Journal of Functional Foods*, 22, 565–577. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.02.011>
- Zabidi, A., Mohd Razif, M., Ismail, S., Sempo, M. W., & Yahaya, N. (2020). Antimicrobial and Antioxidant Activities in ‘Beluntas’ (*Pluchea indica*), Turmeric (*Curcuma longa*) and Their Mixtures. *Sains Malaysiana*, 49, 1293–1302. <https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4906-07>
- Zhang, C.-Y., Zhang, L., Yu, H.-X., Bao, J.-D., & Lu, R.-R. (2013). Curcumin inhibits the metastasis of K1 papillary thyroid cancer cells via modulating E-cadherin and matrix metalloproteinase-9 expression. *Biotechnology Letters*, 35(7), 995–1000. <https://doi.org/10.1007/s10529-013-1173-y>
- Zhang, D.-W., Fu, M., Gao, S.-H., & Liu, J.-L. (2013). Curcumin and diabetes: a systematic review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: ECAM*, 2013, 636053. <https://doi.org/10.1155/2013/636053>
- Zhang, L., Cheng, X., Xu, S., Bao, J., & Yu, H. (2018). Curcumin induces endoplasmic reticulum stress-associated apoptosis in human papillary thyroid carcinoma BCPAP cells via disruption of intracellular calcium homeostasis. *Medicine*, 97(24), e11095. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000011095>
- Zuanon, L. A. C., Malacrida, C. R., & Telis, V. R. N. (2013). Production of Turmeric Oleoresin Microcapsules by Complex Coacervation with Gelatin–Gum Arabic. *Journal of Food Process Engineering*, 36(3), 364–373. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12003>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Productos alimenticios con cúrcuma o curcumina comercializados en Chile

(Consulta realizada en internet el 04/12/2020)



Great Value,
Mostaza All Natural Botella
397 g

\$1.690

Precio x Kg : \$4.257

 AGREGAR

 14 Pesos

Ingredientes

Vinagre, agua, semilla de mostaza, sal, condimentos (cúrcuma, paprika)



Maggi,
Purè de Papas Bolsa
1 Kg

\$4.640

Precio x Kg : \$4.640

AGREGAR

37 Pesos

Ingredientes

Papas (97%), emulsionantes (monooleína, profos), regulador de acidez (ácido cítrico), preservante (metabisulfito de sodio), antioxidantes (BHA, BHT), especia (cúrcuma). Contiene sulfitos



Oferta

Ensalada Atún con quínoa y cúrcuma

160 g

1 un Robinson Crusoe

Código: 1745318

\$ 1.999 (\$ 12.494 x kg)

4X3

El total de la promoción será aplicado al precio sin descuento.

Características principales:

- Contenido neto: 160 g

Guardar en una lista

Agregar





Oferta

Pollo cúrcuma acompañado de quinoa bicolor 340 g

1 un Fro Zen

Código: 1842800

~~\$ 4.990~~ (\$ 14.676 x kg)

25% **\$ 3.743** (\$ 11.007 x kg)

Guardar en una lista

Agregar



Galletas crackers Tika cúrcuma 140 g

1 un Tika

Código: 1

\$ 1.609 (\$ 11.493 x kg)



Nestlé,
Flan Vainilla Postre
110 g

\$310

Precio x Kg : \$2.818

AGREGAR

2 Pesos

Ingredientes

Leches descremada y entera reconstituidas, jarabe de caramelo (5%) [agua, azúcar, agente de relleno (polidextrosa), colorante natural (caramelo), saborizantes artificiales, edulcorante (SUCRALOSA 2,0 mg/100g; 2,2 mg/porción; IDA máx. 15 mg/Kg peso corporal), regulador de acidez (ácido cítrico), preservante (sorbato de potasio) y espesantes (goma xantán y garrofin)], suero de leche, espesantes (almidón modificado de maíz, goma xantán, carragenina, goma garrofin, goma tara), regulador de acidez (fosfato trisódico), saborizante artificial, colorantes naturales (curcumina, annato y carmin de cochinilla) y edulcorante (SUCRALOSA 22 mg/100g; 24 mg/porción; IDA máx. 15 mg/Kg peso corporal). Puede contener trazas de gluten.



Chamyo,
Yoghurt Batido con probióticos Chamyto Sabor
Vainilla Pote
115 g

\$235

Precio x Kg : \$2.043

AGREGAR

2 Pesos

Ingredientes

LECHE DESCREMADA Y ENTERA RECONSTITUIDAS, AGUA, AZÚCAR, ESPESANTES(ALMIDÓN MODIFICADO DE MAÍZ Y AGAR),CREMA DE LECHE, SABORIZANTES IDENTICOS A NATURAL, GELATINA,PRESERVANTE(SORBATO DE POTASIO), CULTIVOS PROBIÓTICOS(BIFIDOBACTERIUM LACTIS), EDULCORANTE(SUCRALOSA 9MG/100G;10MG/PORCIÓN-IDA MÁX. 15MG/KG PESO CORPORAL), CULTIVOS LACTEOS (THERMOPHILUS Y L. BULGARICUS) Y COLORANTES NATURALES (CURCUMINAS Y ANNATO)

Anexo 2: Poster congreso CEPCCN 2020

Cúrcuma (*Curcuma longa*): Una revisión bibliográfica del procesamiento, actividad anticancerígena y capacidad antimicrobiana



Ignacio Esparza Zelada^{1,2}, Luis Puente Diaz¹, Cielo Char Aubry¹

¹ Departamento de Ciencias de los Alimentos y Tecnología Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile

² Programa de Magister en Ciencias de los Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile

Ignacio.esparza@ug.uchile.cl



Introducción

La cúrcuma (*Curcuma longa*) es una planta herbácea perenne originaria de la zona sur de Asia. Esta planta hoy en día es ampliamente cultivada en Asia y algunas áreas de África, siendo India el país que más la cultiva (Lim, 2016). La cúrcuma es conocida popularmente en la cultura asiática como la “especia dorada” debido al color amarillo-anaranjado de su rizoma (Figura 1) otorgado por la curcumina (Figura 2). Esta especia posee un importante vínculo sociocultural con el sur de Asia, en particular la India, cuya relación radica en implicaciones sagradas en el hinduismo. La gente del sur de Asia ha utilizado ampliamente esta especia con fines medicinales, destacando su uso en la Ayurveda (antiguo sistema medicinal) para tratar problemas a la salud como desórdenes biliares, anorexia y sinusitis (Reddi, 2013).



Figura 1: Cúrcuma (*Curcuma longa*)

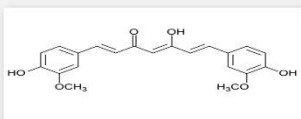


Figura 2: Curcumina

Metodología

Búsqueda de información sobre el procesamiento, propiedades funcionales y capacidad antimicrobiana de la cúrcuma en las siguientes fuentes: ScienceDirect, Springerlink, IEEE Xplore, Researchgate, Web of science, Google Scholar, Scopus y Crossref, considerando las siguientes palabras claves: “turmeric”, “cúrcuma”, “*Curcuma longa*”, “curcumin” y “curcumina”. Como criterio de exclusión se descartó toda información publicada antes del año 2000, considerando solo la información de los últimos 20 años.

Resultados

Tabla 1: Principales productos derivados de la cúrcuma (Fao, 2004; Li et al., 2011; Padmanaban & Nagaraj, 2018)

Producto	Proceso y tecnologías aplicadas
Rizoma deshidratado entero:	Deshidratación (rizoma) Secado solar, convección, vacío, microondas, etc.
Cúrcuma deshidratada en polvo:	Deshidratación y molienda (rizoma) Secado solar, convección, vacío, microondas, etc.
Aceite	Extracción (Rizoma, hojas y flores) Destilación por arrastre con vapor o extracción con CO ₂ supercrítico
Oleo-resina	Extracción (Rizoma) Extracción con solvente orgánico polar (Metanol, etanol, acetona, etc.)
Curcumina	Extracción (Rizoma) Extracción con solvente orgánico polar (Metanol, etanol, acetona, etc.), CO ₂ supercrítico, requiere una posterior cristalización

Tabla 2: Estudios celulares *in vitro* del efecto de la cúrcuma/curcumina sobre el cáncer

Muestra	Células cancerígenas	Resultado	Referencia
Extracto de cúrcuma	Mamas (MCF-7 y MDA-MB-231); colon (HCT116 y HT29), hígado (HepG2); cervical (HeLa)	Inhibición de la proliferación	(Yang et al., 2020)
Extracto de kale (<i>Cassia auriculata</i>) + curcumina	Mamas (MCF7); larínge (Hep2)	Inducción de la apoptosis	(Prasanna et al., 2011)
Curcumina	Ovario (ONCO-DG-1)	Inhibición de la proliferación	(Kocak, 2019)

Conclusiones

Se han realizado numerosas investigaciones relacionadas con el procesamiento de la cúrcuma, las cuales evidencian que a partir de la cúrcuma se pueden obtener productos, tales como, aceite, oleoresina, y curcuminoides.

Diversos estudios celulares *in vitro* han comprobado la actividad anticancerígena de la cúrcuma, los cuales permiten afirmar que el consumo de esta especia contribuye a la prevención del cáncer.

La cúrcuma posee actividad antimicrobiana frente a bacterias patógenas de interés en la industria de alimento como la *Salmonella*, lo que permite fabricar envases activos que inactivan estos microorganismos.

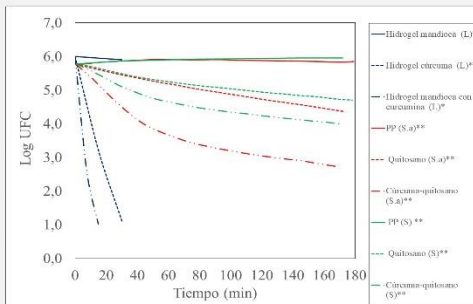


Figura 3: Efecto de la cúrcuma sobre la inactivación bacteriana (L): *Listeria innocua* (S); *Salmonella* (S.a); *Staphylococcus aureus* (*): UFC/ml, exposición a radiación UV (Tosati et al., 2018) **: UFC/g (Kalaycıoğlu et al., 2017)

Referencias

Kim, S.H., H. 2002. The antimicrobial activity of curcumin. *Journal of Ethnopharmacology*, 82, 81-91. [https://doi.org/10.1016/S0378-5122\(02\)00001-0](https://doi.org/10.1016/S0378-5122(02)00001-0)

Kishimoto, K., Tada, T., Aoki-Tsukagawa, S., Ochi, L., & Imai, T. 2007. Anticancer and chemopreventive activities of curcumin. *International Journal of Cancer*, 101, 101-106. <https://doi.org/10.1002/ijc.21101>

Kumar, E. 2010. Anticancer activity of curcumin. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, 136, 101-106. <https://doi.org/10.1007/s00430-010-0101-0>

Li, D., Yuan, W., Ding, G., Wang, P., & Nagaraj, R. 2013. Chemical composition and anticancer activity of curcumin. *Chemical Research in Toxicology*, 26, 101-106. <https://doi.org/10.1021/tx300000a001>

Lim, T. S. 2016. Curcumin. In: *Encyclopedia of Food Safety*. Elsevier, 101-106. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409520-4.14>

Padmanaban, G., & Nagaraj, R. 2018. Curcumin. In: *Encyclopedia of Food Safety*. Elsevier, 101-106. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409520-4.14>

Prasanna, P., Chandra Sekhara, R., Ramakrishna, P., & Subramanian, D. 2011. In vitro anticancer activity of curcumin on human breast and cervical cancer cell lines. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, 137, 101-106. <https://doi.org/10.1007/s00430-011-0101-0>

Reddi, A. H. 2013. Curcumin: A natural anti-inflammatory and anticancer agent. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, 139, 101-106. <https://doi.org/10.1007/s00430-013-0101-0>

Tosati, F., & Oreste, T. F. 2018. Anticancer activity of curcumin on human breast and cervical cancer cell lines. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, 137, 101-106. <https://doi.org/10.1007/s00430-018-0101-0>

Wang, J., & Oreste, T. F. 2018. Anticancer activity of curcumin on human breast and cervical cancer cell lines. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, 137, 101-106. <https://doi.org/10.1007/s00430-018-0101-0>

Yang, Q., Cheng, L., Zhang, T., Wang, S., Yang, H., Xu, Q., & Guo, H. 2020. Curcumin: A natural anti-inflammatory and anticancer agent. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, 137, 101-106. <https://doi.org/10.1007/s00430-020-0101-0>