

PROTOCOLO

DEL PROCESO DE SECADO DE CÚRCUMA A PEQUEÑA Y GRAN ESCALA

2025

Créditos

Autores:

**Karla Francini Mora-Mena,
Geilyn Milieth Arias-Leitón,
Nazareth Barrantes-Herrera,
Ana María Quirós-Blanco,
Ileana Maricruz Bermúdez-Serrano**

Centro Nacional de Ciencia y Tecnología
de Alimentos, Universidad de Costa Rica
y Carrera de Ingeniería de Alimentos
Sede Guanacaste, Liberia, Costa Rica.

Revisores:

Paola Montoya Rodríguez
Promotora de Comercio Exterior de
Costa Rica (PROCOMER)

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción	6
2. Tecnologías de procesamiento disponibles para el secado de cúrcuma	7
3. Principales parámetros de proceso de secado de la cúrcuma	9
4. Condiciones de procesamiento para conservar las propiedades nutricionales de la cúrcuma	14
4.1. Descripción de proceso de secado de la cúrcuma	15
5. Protocolo de secado de cúrcuma con aire caliente	18
5.1. Proceso de secado de cúrcuma a escala de planta piloto	18
5.2. Protocolo de secado de cúrcuma de una línea industrial	22
6. Controles de calidad en el secado de cúrcuma	25
6.1. Control de humedad	26
6.2. Buenas prácticas agrícolas	29
6.3. Buenas prácticas de manufactura	29
6.4. Control de peligros biológicos	30
6.5. Calidad de materia prima	31
6.6. Tecnologías innovadoras o emergentes en el secado de cúrcuma	31
7. Otra alternativa de proceso: secado solar	34
8. Referencias	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I. Tecnologías de secado de cúrcuma y su descripción, así como sus ventajas y desventajas	7
Cuadro II. Información bibliográfica recopilada sobre los principales parámetros del proceso de secado de la cúrcuma, con su respectivo método, condiciones de tiempo, temperatura y humedad.	10
Cuadro III. Especificaciones del equipo de la línea de proceso para pequeña y mediana empresa para el secado de cúrcuma	21
Cuadro IV. Especificaciones del equipo de la línea de proceso industrial para el secado de cúrcuma	24
Cuadro V. Resumen de especificaciones del equipo empleado para medir humedad, su respectivo uso, ventajas y desventajas	28
Cuadro VI. Secadores de cacao y café que utilizan energía solar como fuente de calentamiento	36
Cuadro VII. Especificaciones del equipo para el secado de cúrcuma utilizando energía solar	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de polvo de cúrcuma nivel de planta piloto y MYPIME. Fuente: elaboración propia.....	20
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de polvo de cúrcuma industrial. Fuente: elaboración propia.....	23
Figura 3. Secador de aire caliente asistido por infrarrojo. Fuente: (Jeevarathinam et al, 2021).	32
Figura 4. Secador de aire caliente con radiación solar simulada. Fuente: (Komosing et al., 2022).	33
Figura 5. Secador solar indirecto. Fuente: Besora, 2017.	35
Figura 6. Secador solar mixto. Fuente: Besora, 2017.	35

1. INTRODUCCIÓN

La cúrcuma (*Cúrcuma longa*) es una hierba perenne cultivada por sus rizomas, perteneciente a la familia Zingiberaceae (Gupta et al., 2022). Este cultivo es producido en regiones tropicales y subtropicales alrededor del mundo (Gan et al., 2017), siendo la India el principal productor y exportador (Thangavel y Dhivya, 2019).

La cúrcuma puede ser consumida de forma fresca o seca y es ampliamente usada en la industria de alimentos como colorante, saborizante, conservante, puede ser agregado en bebidas, utilizado en panadería o hasta inclusive en productos lácteos (Wu et al., 2024). Además, es empleado en la industria farmacéutica por sus propiedades medicinales como antioxidante (Gan et al., 2017).

La composición química de la cúrcuma fresca puede incluir un contenido de humedad de 83-87 %, 6,3% de proteínas, 5,1% de grasas, 3,5% de minerales, 69,4% de carbohidratos (Kamble et al., 2011, citado en Thangavel y Dhivya, 2019). Otros componentes como aceites esenciales 2,44%, ácidos grasos 1,7 a 3,3%, curcumina, demetoxicurcumina y bisdemetoxicurcumina cuyo contenido puede ir de 2,5 a 5% en peso seco, así como polipéptidos (Fekhrúzovna, y Sobirovna, 2018).

En el caso de los curcuminoides estos pertenecen a un grupo de compuestos fenólicos que están presentes en la cúrcuma, y que son responsables del color amarillo, así mismo se le atribuyen propiedades medicinales, se considera un compuesto bioactivo importante de conservar en el producto final. Su cantidad puede variar según el genotipo, clima, condición del suelo y su procesamiento (Prasath et al., 2024).

Se han estudiado una serie de tratamientos que permiten el secado de la cúrcuma para su posterior elaboración en polvo, los cuales analizan las condiciones óptimas, en cuanto a temperatura y métodos empleados, que permitan conservar los compuestos bioactivos de la cúrcuma como la curcumina, aceites esenciales y color presente en el polvo obtenido. Los cuales se muestran en el Cuadro II de la sección 3.

2. TECNOLOGÍAS DE PROCESAMIENTO

DISPONIBLES PARA EL SECADO DE CÚRCUMA

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de las principales tecnologías de secado.

Cuadro I. Tecnologías de secado de cúrcuma y su descripción, así como sus ventajas y desventajas

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO/PRINCIPIO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
 Secador de aire caliente ¹	- El secador de gabinete cuenta con una cámara de secado donde el aire recircula, un controlador de temperatura y velocidad de aire. - El producto se distribuye en una serie de bandejas, las cuales se colocan en el interior de la cámara. - Uso de vapor o electricidad como fuente de calor. - Los hay de diferentes capacidades, la elección depende de la carga que se quiera secar.	- La recirculación de aire permite ahorrar energía y tener una mayor eficiencia térmica. - Amplio rango de temperatura de secado desde 50 °C hasta 130 °C. - Secado rápido y eficiente. - Versátil: aplicable a una amplia gama de productos. - Fácil uso y mantenimiento. - Amplia gama de capacidad y tamaños.	- Puntos fríos evitan un correcto secado (rotar bandejas) - Problemas de uniformidad de secado si se sobrecargan las bandejas
 Secador solar ^{2,3}	- Este corresponde a un método convencional que usa luz solar para el secado de los alimentos. - Los alimentos son expuestos durante varios días para reducir la humedad. - Hay métodos directos e indirectos (cámara de secado)	- Amigable con el ambiente. - Económico, utiliza fuente de calor natural. - Simple.	- Requiere muchos días para el secado. - No se pueden controlar condiciones de temperatura y humedad. - Baja inocuidad por exposición a contaminantes. - Pérdidas de producto (insectos)
 Liofilizador ^{4,5}	- Es un método de eliminación de agua por sublimación, se pasa de estado sólido a vapor sin pasar por líquido - Primero se congela el material y luego se elimina el agua por presión de vacío - Se realiza un secado secundario para asegurar la eliminación de agua del producto	Conserva el sabor y aroma natural del producto	- Proceso costoso que requiere de un equipo especializado - Altera la textura

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO/PRINCIPIO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
 Lecho fluidizado ⁶	• Este equipo introduce aire caliente a alta presión por medio de un lecho perforado de partículas sólidas húmedas. • La superficie de cada partícula individual es expuesta para su secado al suspenderla en el flujo de aire • Los hay del tipo estático, dinámico o híbrido	• Secado rápido y homogéneo • Adecuado para productos sensibles al calor • Fácil de operar • Amplia gama de capacidad y tamaños • Alta transferencia de calor en el fluido de aire caliente y el producto. Los materiales se encuentran suspendidos, lo que permite que el secado se lleve de forma individual	• Posible pérdida del producto • Acumulación electrostática alta • No apto para materiales adhesivos, ni con diferentes densidades • Requiere espacio en longitud (alto)
 Microondas ^{7,8}	• Emplea el uso de ondas electromagnéticas de 300 MHz a 300 GHz, lo que da como resultado un movimiento molecular que crea calor por fricción	• Calentamiento rápido, tiempo de secado corto y uso de bajas temperaturas • Buena capacidad de control y sanidad	• Falta de homogeneidad • Aplicaciones limitadas en la industria por limitantes tecnológicas
 Secado asistido por radio frecuencia	• Aplica una tecnología de radiofrecuencia selectiva con agua que garantiza el secado en minutos evitando una sobrecocción superficial que puede afectar el color • Potencia de radiofrecuencia puede ir desde 5 kW hasta 85 kW • Con capacidades de 600kg/h a 1600kg/h	• Eliminación y nivelación de humedad rápida y eficiente • Aumento de vida útil • Reducción de costos de procesamiento • Reduce los problemas de verificación • Elimina el dorado de la superficie, mejora la frescura y el sabor • Reduce la formación de acrilamida.	• Ideal para el secado después del horneado lo que involucra mayores costos de producción

Nota:¹ (HYWELL,2024).² (Moreno, 2023).³ (Adeyeye et al., 2022). ⁴ (BARNALAB, ⁵ octubre 2023).
⁵(Bhosale et al., 2023). ⁶ (Delgado-Plaza et al., 2023). ⁷ (Chong et al., 2021). ⁸(Zahoor et al., 2023).⁹ (RF Systems, 2020).

3. PRINCIPALES PARÁMETROS DE PROCESO

DE SECADO DE LA CÚRCUMA

Se han estudiado una serie de métodos para el secado de la cúrcuma, los cuales van desde métodos tradicionales como el secado solar y el secador de aire caliente y otros que requieren de un equipo más especializado como lo son la liofilización, secador de leche fluidizado, hornos de convección y tecnologías que involucran luz infrarroja.

La mayoría de los estudios coinciden en que las mejores condiciones de secado que permiten conservar propiedades de la cúrcuma como los compuestos volátiles, aceites esenciales, conservación del color y curcumina se presentan a temperaturas entre 50°C a 70°C con tiempos de secado que van desde 6 h hasta las 21 h (Komonsing et al., 2022; Jeevarathinam et al, 2021; Moreno, 2023; Raza et al, 2018).

Además, se han estudiado métodos de secado más avanzados como la liofilización considerada como un tratamiento que permite conservar las propiedades de la cúrcuma como su color, compuestos volátiles y un mayor rendimiento de aceites esenciales (Ray et al., 2022). Contrario al método convencional de secado solar que no requiere de un equipo tan elaborado, pero sí de tiempo (días) para que se llegue a la humedad deseada, lo que puede dar como resultado pérdida de color (menos luminosidad), degradación de curcumina al estar expuesto durante tanto tiempo al calor y a la luz, además que con este método no se tiene control de temperatura ni humedad, ya que depende de las condiciones meteorológicas (Ocampo, 2018; Llano et al., 2022). Así mismo, estudios coinciden que el aplicar pretratamientos como cocción o escaldado a la cúrcuma fresca se puede eliminar el sabor a “crudo” del rizoma, inactivar enzimas y reducir la carga microbiana. Además, si el escaldado o cocción se lleva a cabo en un tiempo menor a una hora se permite conservar compuestos como la curcumina (Moreno, 2023; Gan et al., 2017; Jeevarathinam y Pandiarajan, 2016; Saha et al, 2022; Raza et al., 2018; Jayashree y Zachariah, 2016; Monton et al., 2019).

Por último, es importante considerar aplicar operaciones como el laminado de la cúrcuma, dado que el grosor de esta puede afectar o contribuir a la distribución del calor. Estudios realizados por Sharma et al. (2021), demostraron que al cortar la cúrcuma en trozos de 9 mm de espesor se disminuyó el tiempo de secado solar y de aire caliente permitiendo una mejor difusión del calor en las muestras de cúrcuma y una mayor retención de color.

Estas y otras condiciones que determinan la calidad del producto final serán detalladas en la sección 6.

En el siguiente cuadro se presenta la información bibliográfica recopilada de los diferentes parámetros de proceso en el secado de la cúrcuma

Cuadro II. Información bibliográfica recopilada sobre los principales parámetros del proceso de secado de la cúrcuma, con su respectivo método, condiciones de tiempo, temperatura y humedad.

TIPO DE SECADO	ESPESOR	PRETRATAMIENTO	SECADO				MOLIENDA	RESULTADOS
			TIEMPO	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)	ACTIVIDAD DE AGUA (Aw)		
Aire caliente ¹	espesor de 2,5mm	Escaldado a vapor, presión de 20 psi, durante 0, 8, 15 y 30 min	hasta peso constante, 6h	50, 60 y 70	9,93 ± 0,12- 11,91 ± 1,07	0,19 ± 0,00 a 0,35 ± 0,08	Malla 60-80, 250 y 177 µm	Escaldado de 8 min y secado a 60°C favoreció el contenido de curcumina Temperaturas de secado entre 50 y 70°C favorecen el contenido de color (más luminosos)
Secador de gabinete ²	rodajas de 4 mm de espesor	Blanqueamiento en baño de agua a 70°C, durante 5, 15 y 30 min	N.A	38, 48, 57 y 64	5,2 ± 0,2 a 10,5 ± 0,3	N.A	Tamiz malla 40 (0,42mm)	Escaldado a 15min obtuvo un mayor rendimiento de curcumina y el secado a 57°C y 20% HR fue el mejor tratamiento, produciendo mayor curcumina en muestras no blanqueadas
Secador con aire caliente asistido por infrarrojos (IRHAD) ³	rodajas	Ebullición 5 min, 92° C	8, 11 y 13h	50, 60 y 70	7	N.A	Molino de muelas, tamiz malla 1mm	Temperatura de secado de 60°C aumenta el contenido de curcumina, oleorresina, color y almidón. El IRHAD proporcionó una retención máxima del contenido de curcumina, oleorresina y almidón y un menor deterioro del color a una temperatura de 60 °C
Secado por infrarrojos (IRD) ³								
Secado con aire caliente (HAD) ³								
Secado al sol ⁴	rebanadas de 5-25mm,5-50mm,10-25mm,10-50mm	Ebullición	10-15 días	36-47	8,5-7,4	N.A	Molino de muelas, tamiz malla 1mm	Ebullición y secado al sol intensificaron el contenido de curcumina y almidón, el contenido de aceite esencial, oleorresina disminuyó con el contenido de humedad

TIPO DE SECADO	ESPESOR	PRETRATAMIENTO	SECADO				MOLIENDA	RESULTADOS
			TIEMPO	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)	ACTIVIDAD DE AGUA (Aw)		
Secador de aire caliente ⁵ Microondas 450-8650 watt ⁵	N.A	Ebullición 80°C, durante 30 min	5h 5 min	60 N.A	entre 6,33±0,47 y 9,33±0,01	N.A	N.A	No hubo una diferencia significativa en el contenido de curcumina entre las muestras hervidas y no hervidas, aunque el contenido de curcumina fue ligeramente superior en el método de secado en microondas
Secador de aire caliente con radiación simulada ⁶	Rodajas Grosor medio de 2,16 3 0,28 mm	N.A	3,17h a 14,22h	40,50,60,70	6,23 a 8,54	0,36	molino de cuchillas, tamiz n° 35 (500µm)	La condición de secado óptima fue 70 °C bajo una cubierta de policarbonato, debido a que se conservó mejor el color y los curcuminoides
Secado al sol, 65-70%HR ⁷			24.30h	N.A				La cúrcuma entera hervida y secada al sol produjo la máxima curcumina (5,82 %) y las hervidas en rodajas produjeron la máxima oleoresina (8,10 %)
Horno de aire caliente ⁷	Rodajas		12-19h	50			N.A	
Secador en lecho fluidizado ⁷					9 a 10	N.A		
Secado en lecho fluidizado ⁷		Con y sin escaldado por 45min a 1h	5.8h	36				La liofilización obtuvo una mejor conservación del color, mayor rendimiento de aceite esencial, de compuestos volátiles, obteniendo un producto de mejor calidad
Secado a la sombra (SD) ⁸			72h	2535	7,49	0,3430,01		
Secado solar (SOD) ⁸			16h	33-42	6,98	0,2830,01		
Secado en horno de aire caliente (HAD) ⁸	Trozos de grosor de 7-8mm		8h	60	6,83	0,2530,01	Tamiz malla 60	
Secado por congelación (FD) ⁸		Precongelación -20°C	24h	Condensador -40°C, placa calefactora 20°C, P:20Pa	6,13	0,22±0,01		

TIPO DE SECADO	ESPESOR	PRETRATAMIENTO	SECADO				MOLIENDA	RESULTADOS
			TIEMPO	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)	ACTIVIDAD DE AGUA (Aw)		
Secador de aire caliente, v:5m/s. ⁹	N.A	Con y sin ebullición (SE), 1, 2 y 3h	41,21,11,04,h	<10	N.A	N.A	N.A	Las mejores condiciones se obtuvieron al hervir la cúrcuma 1h y secado con aire caliente por 21h a 70°C, dando como resultado una mayor concentración de curcumina
Horno de convección ⁹			45,27,18,06h					
Túnel solar ⁹			37 días					
Secado a la sombra (SE) ⁹			76 días					
Secado al sol (SE) ⁹			43 días					
Secado al sol (WC) ¹⁰	corte en rodajas	Cocción en agua hirviendo (WC) por 40,60 y 90min	11 días	37	10	N.A	N.A	La máxima retención de curcumina (5,91%), aceite esencial (3,6%), oleoresina (13,33%) y almidón (66,96%) se obtuvo para los rizomas curados mediante el método de ebullición en agua durante 40 min. En la cocción de vapor la máxima retención de curcumina (6,0%), aceite esencial (3,33%), oleoresina (13,96%) y almidón (63,33%) fue para los rizomas curados durante 30 min.
Secado al sol (SC) ¹⁰		Cocción al vapor (SC) 30, 45 y 60 min	24,23 y 12 días					
Convección horno de aire caliente ¹¹	Rodajas, grosor 0,2-0,3cm	Hervidos en solución de carbonato de sodio al 0,1% durante 15 a 45min	30 min	60	N.A	N.A	Tamiz malla 40	La cúrcuma de mayor calidad se obtuvo con un curado de 30min a 1500 W
Seguido de un calentamiento en microondas 630W ¹¹			20-60 min	N.A				
Aspersión (SD) ¹²	N.A	N.A	24h 7días	T. entrada: 150°C/T. salida:85°C	N.A	N.A	N.A	La mayor cantidad de curcuminoides se presentó en el tratamiendo SD
Congelación (FD) ¹²				Congelación: -80 Secado: -70				
Aspersión-liofilización (SFD) ¹²								
Aspersión ¹³	N.A	N.A	N.A	T.entradas:140-160/T. salida:75-95	1,38 ±0.00 a 3,38±0,00	0,17±0,00 a 0,27±0,00	N.A	Las mejores condiciones se obtuvieron con una temperatura de aire de entrada de 149°C y 75°C de salida. Sin embargo, las altas temperaturas afectan el contenido de curcuminoides
Secador de bandejas ¹⁴	Rodajas	Blanqueado	3-5 días	60, 70 y 80	8,95 a 10,80	N.A	N.A	El secado a una temperatura de 60°C permitió obtener una mayor concentración de carbohidratos, proteínas, aceite total y fibra

TIPO DE SECADO	ESPESOR	PRETRATAMIENTO	SECADO				MOLIENDA	RESULTADOS
			TIEMPO	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)	ACTIVIDAD DE AGUA (Aw)		
Horno de convección (COD) ¹⁵	Procesador de alimentos, rodajas de 5mm de espesor	N.A	13h	50	7,6 ±0,1	0,07 ± 0,003	Molino de martillo, 40µm	El secado por convección y en lecho fluidizado no tuvieron un impacto significativo en la calidad de la cúrcuma. Sin embargo, el secado solar degradó los curcuminoides en un 36,5%
Lecho fluidizado (FBD) ¹⁵			8h	50, ventilador 2400rpm	7,5 ± 0,2	0,05 ± 0,003		
Solar tradicional (TSD) ¹⁵			20h	24 ± 2 °C	7.9 ± 0.2	0,08 ± 0,003		
Horno de circulación de aire forzado ¹⁶	Pelados y cortados a ±59,46 mm, ancho de15,62 mm y espesor de 2,63 mm	N.A	hasta peso constante	45	7,51 ± 0,29	N.A	Molino ciclónico, tamiz 18	Se mostraron mejores resultados de composición química de la harina y actividad antioxidante a una temperatura de 45°C
				55	7,35 ± 0,09			
				65	7,19 ± 0,15			
				75	7,10 ± 0,14			
Secador con aire caliente (HAD), v: 1,0 3 0,05,/s ¹⁷	Cortador, trozos de 3,6,9mm de espesor	Remojo en agua hirviendo 2min	92-80h	45-50	3,25 ± 0,19, 3,93 ± 0,16 y 4,38 ± 0,52	N.A	Molinillo mezclador, malla 72 µm	DSD tuvo un menor tiempo de secado con 9 mm de espesor. Se obtuvieron mejores resultados en cuanto a color y textura en DSD que en HAD
Secador solar directo(DSD) ¹⁷			12h	39-51				

Nota:¹(Moreno, 2023), ²(Gan et al., 2017), ³(Jeevarathinam et al, 2021), ⁴(Jeevarathinam y Pandiarajan, 2016), ⁵(Charoenchai et al., 2020), ⁶(Komonsing et al., 2022), ⁷(Saha et al., 2022), ⁸(Ray et al., 2022), ⁹(Raza et al., 2018), ¹⁰(Jayashree y Zachariah, 2016), ¹¹(Monton et al., 2019), ¹²(Park et al., 2022a), ¹³(Coronel-Delgado, 2017), ¹⁴(Parmar et al., 2023), ¹⁵(Llano et al., 2022), ¹⁶(Siqueira de Lima, et al., 2022), ¹⁷(Sharma et al., 2021).

4. CONDICIONES DE PROCESAMIENTO PARA CONSERVAR

LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES DE LA CÚRCUMA

El secado corresponde a un método eficaz empleado con la finalidad de alargar la vida útil de los productos y facilitar el transporte de estos a diferentes partes del mundo (Crowley & O'Mahony, 2016). Durante esta operación pueden ocurrir una serie de cambios físicos, químicos, bioquímicos en el alimento, deseables o indeseables, que involucran la reducción del contenido de humedad y de Aw, pérdida o retención de macronutrientes, de compuestos volátiles y bioactivos (Guiné, 2018). A nivel microestructural pueden ocurrir cambios que están relacionados con la calidad final del producto como variaciones en la textura, densidad, capacidad de rehidratación y reconstitución (Ngamwonglumlert & Devahastin, 2018).

Como se ha mencionado anteriormente el compuesto activo de la cúrcuma corresponde a la curcumina, la cual puede degradarse con la luz, debido a que su grupo cromóforo absorbe fuertemente la luz visible, lo que la hace susceptible a la degradación química. Para conservar el color de la cúrcuma y su contenido de curcumina se debe evitar la radiación solar directa e indirecta durante el secado de la cúrcuma (Heger et al., 2014 citado en Komonsing et al., 2022), dado que por más de 120 h (5 días de secado aproximadamente) la curcumina se degrada completamente en vainillina, ácido ferúlico, vainílico y aldehído (Khurana 1988 citado en Mahran, et al., 2017).

Además, los curcuminoides son susceptibles a la temperatura, por lo que este valor influye en las propiedades físicas y tecnológicas de la cúrcuma (Siquiera de Lima et al., 2022). Estudios como el realizado por Raza et al. (2018), han determinado el efecto de diferentes tratamientos de secado incluidos la sombra, la luz solar directa, el secador solar, el horno de convección y el secado con aire caliente, sobre la concentración de curcumina, donde se determinó que hervir los rizomas durante 1 h y secar a 70°C en secador de aire caliente fue el tratamiento con mayor contenido de curcuminoides.

Por lo que, para garantizar la calidad nutricional del producto que se va a secar se deben tomar en cuenta una serie de escenarios como el aplicar tecnologías de secado adecuadas según la composición del producto y condiciones de secado que permitan conservar las propiedades nutricionales, así como el uso de tiempos y temperaturas apropiadas (Crowley & O'Mahony, 2016). En cuanto al tiempo de secado este se debe controlar para evitar que sea excesivo, dado que estudios han demostrado que una larga duración del secado ha tenido impactos negativos en el contenido de curcumina (Raza et al., 2018), además de evitar temperaturas muy altas durante el secado (mayor a 70°C) para evitar la degradación del compuesto (Raza et al., 2018).

4.1. DESCRIPCIÓN DE PROCESO DE SECADO DE LA CÚRCUMA

La *Cúrcuma Longa L.* es un producto que se puede consumir desde fresco hasta deshidratado. La FAO (2022), hace referencia a la cúrcuma seca o deshidratada como el producto obtenido después del secado de rizomas de *Curcuma longa L.* provenientes de la familia de las plantas Zingiberaceae.

Para la producción de cúrcuma seca se deben tomar en cuenta una serie de aspectos que permitan cumplir ciertos parámetros y asegurar la calidad del producto, los cuales están relacionados con mantener el sabor y olor característicos del producto, la conservación del color y compuestos como la curcumina y aceites esenciales.

4.1.1. LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN

En el caso de la limpieza se puede realizar con agua potable a presión donde se elimine restos de tierra en el rizoma, en este punto se puede incluir el uso de un cepillo que permita remover la suciedad con mayor facilidad. En cuando a la desinfección en el caso de la cúrcuma estudios como los realizados por Siqueira de Lima et al. (2022) han aplicado una concentración de 100 ppm de hipoclorito de sodio durante 10 minutos. La desinfección se puede aplicar mediante inmersión o aspersión de productos como cloro o ácido peroxiacético en concentraciones que van de 50-100 ppm (Moreno, 2023). Estas concentraciones permiten modificar el perfil de ADN y proteínas de microorganismos como *E.coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, ocasionando que se modifiquen los perfiles de los metabolitos lo que causa la muerte o degradación de los microorganismos. Sin embargo, algunos de estos microorganismos tienen la capacidad de adaptarse a condiciones adversas, por lo que es importante aplicar un tiempo de contacto prudente que puede ir desde 5 min a 20 min, mayor a eso se ha demostrado adaptación de microorganismos como *E.coli* (Drazic et al., 2015; Wang et al., 2023; Wang y Ryser, 2020). La efectividad de los desinfectantes también depende de la carga orgánica de la materia prima, debido a que desinfectantes como el cloro reducen su efectividad en presencia de materia orgánica, por lo que se recomienda cambiar el agua cuando esta se vea muy sucia (Drazic et al., 2015; Wang et al., 2023).

Es importante tomar en cuenta que al realizar la limpieza y desinfección seguir las recomendaciones del fabricante según el producto a utilizar, además de aplicar pruebas para asegurar que la concentración empleada ayuda a reducir la posible carga microbiana presente en el producto.

4.1.2. PRETRATAMIENTO TÉRMICO

En cuanto al procesamiento de la cúrcuma algunos estudios coinciden que escaldar con vapor por 8 a 15 minutos (Moreno, 2023; Gan et al., 2017), o bien llevar a una ebullición, ayuda a eliminar el sabor a crudo, a digerir mejor el almidón, a mantener el contenido de curcumina y reducir el tiempo de secado. Este último parámetro se explica debido a que, durante el escaldado puede ocurrir la gelatinización de las moléculas de almidón, dando como resultado un bloqueo en los sitios de sorción y adsorción de agua y una red de polímeros menos higroscópica alrededor de las superficies blanqueadas, lo que desfavorece la adsorción de humedad (Gan et al., 2017). En cuanto a la ebullición no debe sobrepasar un tiempo de 60 min (Raza et al., 2018; Charoenchai et al., 2020), debido a que un mayor tiempo puede dar como resultado la pérdida de componentes como la curcumina, producto de una degradación por altas temperaturas, pérdida de aceites volátiles además de una disminución del color, específicamente, de la luminosidad (Moreno, 2023; Gan et al., 2017), por lo que se recomienda hervirla por un tiempo entre 30 y 40 min (Raza et al., 2018).

4.1.3. LAMINADO

El laminado de la cúrcuma permite optimizar el secado del producto, debido a que al exponer una mayor superficie de contacto al aire caliente se facilita la eliminación de humedad, lo que a su vez contribuye al aumento en la velocidad de evaporación al darse un transporte más rápido de masa producto de la difusión de agua del producto al exterior y de calor producto del intercambio de temperatura (Moreno, 2023). Es por ello que en los estudios relacionados al secado de cúrcuma se han probado grosores de 3 a 9 mm de espesor en rodajas de cúrcuma (Sharma et al., 2021).

4.1.4. SECADO

En el caso del secado el método más utilizado comúnmente consiste usar un secador de aire caliente a una temperatura de 50-60°C por un tiempo aproximado de 6 a 13 horas o hasta alcanzar la humedad deseada, esta temperatura ha resultado favorable en algunos estudios, debido a que se ha demostrado que a temperaturas superiores a 90°C se puede deteriorar la composición del producto y reducir la cantidad de curcumina y provocar el deterioro del color (Moreno, 2023; Jeevarathinam et al., 2021). Así mismo, estudios han determinado que exponer la cúrcuma a temperaturas de secado bajas menores a 40°C y tiempos extensos (14 h) pueden degradar el contenido de curcuminoides (Komonasing et al., 2022).

Además de otros métodos como el secado por liofilización permiten conservar el color, obtiene un mayor rendimiento de aceite esencial, de compuestos

volátiles, dando como resultado un producto de mejor calidad, sin embargo, es un método costoso (Ray et al., 2022). Como se mencionó anteriormente, el compuesto activo de la curcumina es sensible a condiciones como el calor y la luz, por lo que exponer la cúrcuma a condiciones de luz solar directa, temperatura de secado alta y tiempo de secado muy extenso afectan la concentración de curcumina (Moreno, 2023).

Lo ideal durante la operación de secado es controlar el contenido de humedad, debido a que este es un factor importante en la estabilidad y determinación del punto final del producto. Según el comité de contaminantes en alimentos, FAO (Codex alimentarius, 2016) al obtener valores de inferiores al 12% de humedad y valores de actividad de agua menores a 0,6, resultan en un alimento seguro que cumple con parámetros de calidad de humedad en el caso de hierbas y especias.

Además, el secado es una operación importante dado que el bajo contenido de humedad y de Aw limita el crecimiento de bacteria patógenas como Salmonella, E.coli y Listeria monocytogenes, estos microorganismos no pueden crecer ni producir toxinas a Aw menores a 0,95. Se exceptúa Bacillus cereus como se presentó en la sección 3.2 este patógeno puede desarrollar resistencia a altas temperaturas (Park et al., 2022b).

4.1.5. MOLIENTA

Luego del secado para obtener polvo de cúrcuma se debe llevar a cabo una molienda, cuyo tamaño depende del mercado final al que se dirige el producto. Según Sridhar (2005, citado en De Ramos et al., 2017), la cúrcuma empleada como especia se muele hasta obtener un polvo fino de entre 200 y 500 micrones.

El equipo empleado durante la operación de molienda está compuesto por molinos como martillos, rodillos, que permiten la reducción del tamaño de partícula al girar a alta velocidad. Esta operación puede afectar la calidad del producto final por lo que hay que tomar en cuenta aspectos de la materia primas como lo es la dureza, tenacidad, abrasividad, pegajosidad, temperatura, estructura del material y contenido de humedad (a menor contenido la muestra se vuelve más quebradiza lo que contribuye a la molienda) y del equipo a emplear como la velocidad a la que giran los martillos o rodillos, el tamaño de la malla a emplear; lo que influye en la eficacia de la molienda y en la calidad de producto final (De Ramos et al., 2017).

4.1.6. EMPAQUE Y ALMACENAMIENTO

Como se mencionó anteriormente la cúrcuma es sensible a condiciones de luz y calor extremo, por lo que es recomendable para el empaque utilizar materiales

con algún tipo de barrera para evitar el deterioro de la curcumina (Llano et al., 2022). Llano (2016), recomienda emplear un empaque metalizado o aislante de la luz debido a que los curcuminoides son sensibles a la radiación UV-VIS. Además, este producto puede ser higroscópico por lo que se recomienda almacenarlos en ambientes secos (libres de humedad), no cálidos y protegidos de la exposición a la luz, con la finalidad de preservar compuestos como la curcumina (Moreno, 2023).

5. PROTOCOLO DE SECADO DE CÚRCUMA CON AIRE CALIENTE

Según los resultados del Cuadro I y los resultados de la investigación bibliográfica presentada en el Cuadro II, el secador de aire caliente, aunque requiere de un equipo específico, puede ser un método óptimo para ser utilizado por empresas pequeñas y a nivel industrial, debido a que los hay de diferentes tamaños y capacidades. Además, este equipo permite el control de temperatura, velocidad de aire y tiempo de secado (HYWELL, 2024).

Por esa razón en las siguientes secciones se presenta el protocolo de secado para cúrcuma a escala de planta piloto e industrial con un secador de aire caliente.

Ahora bien, es importante considerar que el método que se vaya a utilizar debe ser validado por la empresa, para lo cual es necesario realizar cálculos sobre el tiempo y temperatura de secado según la carga de producto que se vaya a secar.

5.1. PROCESO DE SECADO DE CÚRCUMA A ESCALA DE PLANTA PILOTO

Una planta piloto hace referencia a un lugar de procesamiento de alimentos a escala reducida, generalmente, su uso es de carácter didáctico (García, 2012), cuya capacidad de producción puede variar según el tipo de producto que se esté preparando y pueden ir desde 10 hasta 500 L/h (Omve, s.f).

En las siguientes secciones se presenta el protocolo de secado recomendado a escala de empresas pequeñas:

- **5.1.1. Lavado:** se utiliza agua potable a presión y con ayuda de cepillos se elimina la suciedad proveniente de la tierra. Durante el lavado se puede realizar una selección de los rizomas más pequeños y decolorados (verdes).

- **5.1.2. Desinfección:** se puede realizar colocando en inmersión los rizomas previamente lavados con una solución desinfectante de cloro o ácido peracético en concentraciones entre 50-100 ppm por 5-10 min
- **5.1.3. Escaldado/ blanqueado:** con la finalidad de fijar, distribuir y retener el color e inactivar enzimas y disminuir el tiempo de secado, se puede aplicar un escaldado en marmita con vapor a 20 psi de presión por 8 min. Y en el caso de las empresas que no cuenten con escaldadores se puede aplicar un proceso de blanqueado en una olla con agua a ebullición durante 30 min.
- **5.1.4. Laminado:** permite facilitar el secado, se puede realizar con ayuda de un cortador hobart o manual con cuchillos, en rodajas delgadas de 3 a 9mm de espesor.
- **5.1.5. Secado:** colocar la muestra bien distribuida en bandejas en capas de no más de 1cm de grosor, pasar al secador de aire caliente a una temperatura de 60°C durante 6 h o hasta alcanzar una humedad menor al 12%.
- **5.1.6. Molienda:** molino de martillos, con una malla de 0,33" a 0,66", o bien con ayuda de una máquina pulverizadora.
- **5.1.7. Empaque:** manual en bolsas metálicas o de cartón de 50 g
- **5.1.8. Almacenamiento:** en un lugar fresco donde se evite la exposición a la luz

A continuación, se presenta el diagrama de flujo correspondiente al secado de cúrcuma a escala de pequeña y mediana empresa.

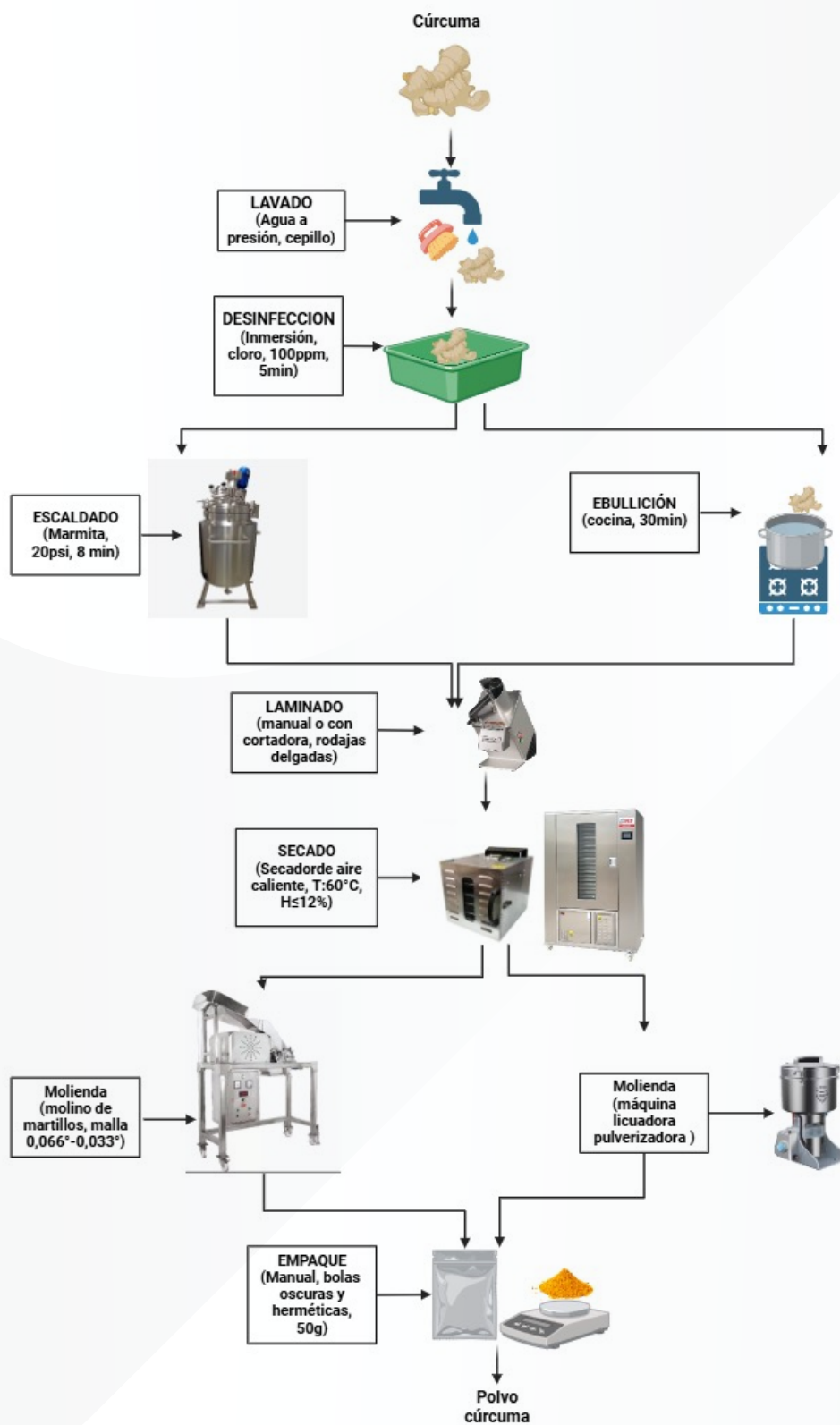


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de polvo de cúrcuma nivel de planta piloto y MYPIME. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el Cuadro III correspondiente a especificaciones de los equipos de la línea de proceso a pequeña y mediana escala

Cuadro III. Especificaciones del equipo de la línea de proceso para pequeña y mediana empresa para el secado de cúrcuma

EQUIPO	ESPECIFICACIONES	ACCESORIOS	VENTAJAS
 Marmita^{1,2,3}	Material acero inoxidable SUS304 y SS316L Capacidad de 50L a 1000L Modo de calefacción: eléctrica, gas, vapor Cuenta con calentamiento mediante chaqueta lo que evita que el producto se queme o se pegue Pueden ser de forma cilíndrica o semiesférica (más usada)	Compuesta por caldera, el soporte, la rueda de turbina y la turbina, entre otros. La caldera puede girar 180° Contiene un mezclador de paletas	Permite procesar volúmenes altos Puede ser utilizada en la industria farmacéutica, química, alimentaria Permite calentar materiales de manera rápida y uniforme Fácil de operar, seguro
 Troceadora⁴	Material acero inoxidable Capacidad 3L 4 velocidades: 500/800/1450 y 2650 rpm	Accesorio intercambiable de cuchillas para preparar rebanadas, tiras, raspado y julianas	Corte rápido y eficiente Se puede procesar muchos tipos de productos desde frutas, vegetales, semillas, hongos Diseño permite mantener una mayor higiene
 Secador de aire caliente (pequeña empresa)^{5,6}	Material: acero inoxidable Temperatura: 30-90°C	6 bandejas	Fácil de operar y limpiar, por su diseño implica un menor riesgo de contaminación microbiana Permite un mayor control de las temperaturas de secado Permite deshidratar una variedad de alimentos Bajo consumo de energía
 Secador de aire caliente (mediana empresa)^{5,7}	Material acero inoxidable Rango de temperatura de 50-80°C Capacidad 20-100kg	20-30 bandejas	Fácil de operar y por su diseño implica un menor riesgo de contaminación microbiana Permite un mayor control de las temperaturas de secado Permite deshidratar una variedad de alimentos

EQUIPO	ESPECIFICACIONES	ACCESORIOS	VENTAJAS
 Molino de martillos ^{8,9}	Constan de un rotor, con varillas metálicas El producto se introduce y es golpeado por los martillos que giran rápidamente Capacidades de 50 a 200kg/h	Malla de 300 micras a 38 mm, malla redonda o cuadrada	Puede ser utilizado en alimentos fibrosos, húmedos y secos Requerimiento razonable de energía Alto rendimiento
 Procesador, pulverizador ¹⁰	Material acero inoxidable Molino de hierbas y especias Capacidad 1kg	1 juego de cuchillas	Útil para pequeñas cantidades Fácil de usar, rápido

Nota: ¹(ACE Machinery, s.f.), ² (COBYBSA,s.f), ³ (Chacaguasay y Picho, 2016), ⁴ (Hobart, s.f), ⁵ (Isik et al., 2019), ⁶ (Tips, s.f), ⁷ (Ikefood Machinery s.f), ⁸ (Saravacos y Kostaropoulos, 2016), ⁹ (YENCHEN, 2024), ¹⁰ (Vishvas, 2024).

5.2. PROTOCOLO DE SECADO DE CÚRCUMA DE UNA LÍNEA INDUSTRIAL

- **5.2.1. Lavado y pelado:** mediante una máquina de lavado y limpieza que utiliza agua a presión mientras rotan los cepillos suaves y duros, lo que permite que se elimine la suciedad proveniente de la tierra con el cepillo suave y la cáscara con el duro. Con una capacidad de 500kg a 1800 kg/h (Taizy, 2024).
- **5.2.2. Laminado:** máquina cortadora con cuchillas que se ajustan según el grosor que se requiere, de 1 a 3mm. Tiene una capacidad de 150 a 450kg/h
- **5.2.3. Secado:** secador de aire caliente de un carro (24 bandejas) con capacidad de 60 kg/h, para el secado se debe colocar la muestra bien distribuida en bandejas en capas de no más de 1cm de grosor, pasar al secador de aire caliente con una velocidad del aire de 2,0m/s a una temperatura de 60°C durante 6h hasta alcanzar una humedad menor al 12%
- **5.2.4. Molienda:** molino de discos con capacidad de 20 a 50kg/h, malla n°20 (0,033”) o bien utilizar el tamaño según las especificaciones requeridas del producto

- **5.2.5. Tamizado:** en máquina tamizadora de 3 a 5 capas, para asegurar el tamaño de partícula de 0,033". O bien utilizar el tamaño según las especificaciones requeridas del producto
- **5.2.6. Empaque:** máquina dosificadora en bolsas metálicas o de cartón
- **5.2.7. Almacenamiento:** en un lugar fresco donde se evite la exposición a la luz

A continuación se presenta el diagrama de flujo de secado de cúrcuma a escala industrial.

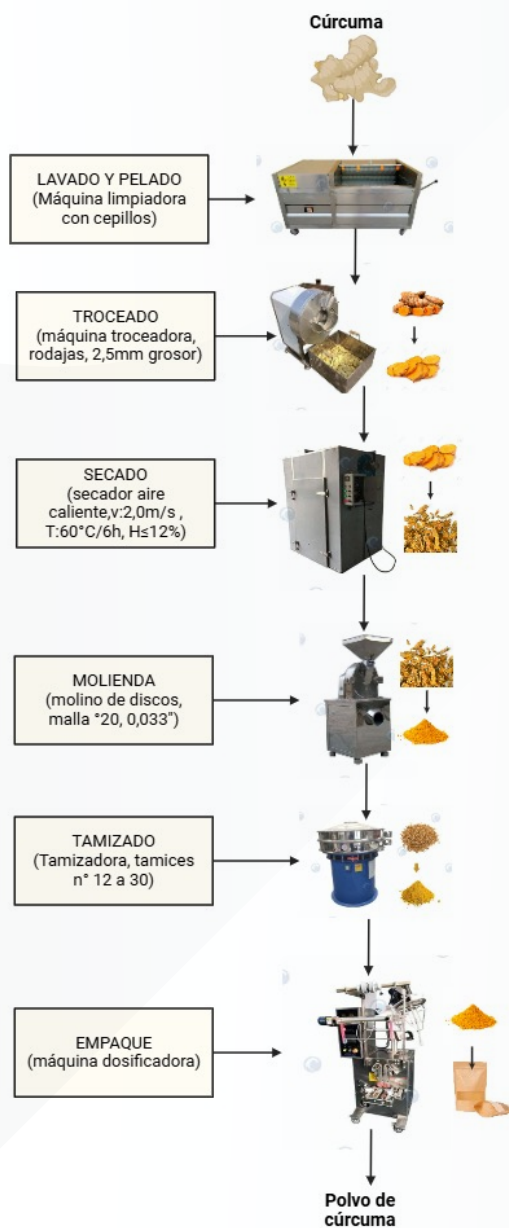


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de polvo de cúrcuma industrial.
Fuente: elaboración propia.

En el Cuadro IV se presentan las especificaciones del equipo a escala industrial

Cuadro IV. Especificaciones del equipo de la línea de proceso industrial para el secado de cúrcuma

EQUIPO	ESPECIFICACIONES	ACCESORIOS	VENTAJAS
Máquina lavado y pelado ¹	• Material: acero inoxidable 304 • Consta de 2 tipos de cepillos: suaves y duros, el primero permite remover la suciedad como restos de tierra, el cepillo duro es adecuado para pelar • Consta de 9 rodillos • Tiene una capacidad desde los: 500 kg, 700 kg, 1000 kg y 1800 kg por hora.	• Dispositivo de pulverización de alta presión: suspendido en la parte superior de los cepillos, se conecta en una tubería para el flujo de agua a alta presión • Dispositivo de limpieza de cepillos: limpia impurezas mediante fricción	• Fácil operación y mantenimiento • 2 en 1 permite lavado y pelado de varios alimentos
Peladora ²	• Pelador de vegetales, material acero inoxidable • Capacidad 6,8-13,6 kg	• Consta de un eje de acero inoxidable, temporizador correa de agarre	• Rápido pela entre 1 a 3min • Motor con protección de sobrecarga
Troceadora ^{1,2,3}	• Material: acero inoxidable 304, aluminio, magnesio • Se pueden personalizar las cuchillas: diversos espesores de corte • Principio de centrifuga: puede cortar y triturar al mismo tiempo • Capacidad de corte: 150-250kg/h • Dimensiones:1-3mm • De 30-1800 kg/h² • Acero inoxidable capacidad de 300 a 1000 kg/h, espesor y grosor de corte de 2-10mm³	• Consta de un dispositivo de lubricación automática con cuchillo afilado y cortador de alambre	• Superficie troceada queda lisa, del mismo grosor y tamaño • Adecuada para plantas procesadoras de alimentos • Alta velocidad y capacidad de corte
Secador de aire caliente ^{1,3}	• Material: acero inoxidable • Tipo de calefacción: eléctrica, vapor • Capacidad: 600 hasta 1200 kg/h • Desde 2 hasta 24 carritos de secado • Capacidad: 20-100 kg, temperatura de 20-80°C³ • Materia acero inoxidable, capacidad de 50-80°C y 800-1000 kg/lote³	• Ventilador: permite circular el aire dentro de la máquina • Bandejas y carrito: para colocar el producto que se va a secar	• Adecuado para deshidratar. Frutas, especias, hierbas y verduras • Gran capacidad de almacenamiento, • Calentamiento rápido y uniforme • Control de temperatura y humedad
Molino ¹	• Fresadora de disco • Material: acero inoxidable • Capacidad: 20-50 kg/h	• Cuenta con: martillo transversal, un disco estriado (fijo y activo), una bisagra, un mango y una pantalla de acero inoxidable, criba (según tamaño del producto)	• Útil para triturar materias primas y quebradizas • Amplia aplicación: desde granos hasta verduras y tubérculos
Tamizador ¹	• De tres a 5 capas y hasta más	• Bola tamizadora: evitar obstrucciones de polvo • Tira de sellado: garantiza un buen rendimiento	• Permite personalizar nivel de finura
Empacador dosificador ¹	• Dimensiones de la máquina: 1300*500*1700mm	• Panel de control inteligente	• Permite envasar todo tipo de polvo • Automática: puede realizar mediciones, llenado, sellado, corte • Precisión de ensamblaje precisa y alta eficiencia de producción

Nota: ¹(Taizy, 2024)1, 2 (Hobbart, s.f), 3 (Ikemachinery, s.f).

6. CONTROLES DE CALIDAD EN EL SECADO DE CÚRCUMA

La calidad de un producto está relacionada con las características implícitas como cambios químicos, físicos y microbianos y explícitas como el tamaño, forma, color, consistencia, textura y sabor del producto (Yang et al., 2019), características que el consumidor espera al adquirir ese alimento (Mahendran et al., 2016). Así como, que este sea seguro y que no vaya a causar ningún tipo de peligro al consumirlo, lo que genera credibilidad y seguridad en ese alimento (Maruchek, 2016).

El uso de métodos adecuados, que a su vez permiten el control del proceso son cruciales para garantizar la calidad del producto. Uno de los aspectos importantes a controlar durante el secado corresponde a la humedad, representada por el agua total contenida en el producto (Vera et al., 2019). Durante el secado se debe llegar hasta niveles de humedad considerados como seguros para el alimento, lo que facilita su almacenamiento y transporte al consumidor, además, al eliminar la actividad de agua en el rizoma se dificulta el ataque de plagas al alimento (PROCOMER, s.f. b). Con el secado también se reduce el agua disponible para reaccionar, que corresponde al A_w , considerada como un factor crítico durante el crecimiento microbiano, ambas condiciones permiten reducir el deterioro de los alimentos y aumentar la vida útil del producto (Vera et al., 2019).

En cuanto al crecimiento microbiano a pesar de que se reduce la posibilidad de crecimiento de algunas bacterias por el bajo contenido de humedad o de A_w por causa del secado, esto no exime al producto que pueda contaminarse durante el proceso (Chen et al., 2024). Si bien, algunos patógenos bacterianos no pueden crecer a niveles de actividad de agua (A_w) de $<0,85$ y bajos contenidos de humedad, como Salmonella, Escherichia coli, Listeria, S. aureus y Bacillus cereus, las células viables que pueden estar presentes tienen la capacidad de sobrevivir al proceso de secado y a largos periodos de almacenamiento (FAO, 2015; Enache et al., 2017), lo anterior se ha observado en casos relacionados con brotes alimentarios de productos con bajo contenido de humedad y A_w (Acuff et al., 2023).

Además, para mantener la calidad del producto, se debe tener un control sobre las materias primas provenientes del campo, mediante el aseguramiento de buenas prácticas agrícolas, ya que estas deben regular aspectos como el control de plagas y prácticas adecuadas para el manejo pre y poscosecha y cosecha (MAG, 2008). Así como el adecuado procesamiento que involucre buenas prácticas de manufactura y por ende de higiene, ya que, como se

vio anteriormente existen bacterias que desarrollan resistencia a ambientes adversos como el calor y baja humedad, que pueden poner en riesgo la salud del consumidor y estabilidad del producto (Chen et al., 2024).

6.1 CONTROL DE HUMEDAD

Uno de los parámetros que determina la calidad y estabilidad del producto corresponde al contenido de humedad, el cual se puede medir de forma rápida mediante equipos como la balanza de humedad o bien en estufa u horno por diferencia. El contenido de humedad se puede determinar por medio de procedimientos establecidos para cada tipo de alimentos como el ISO 939:2021 Spices and condiments - Determination of moisture content, donde se especifica un método de arrastre por destilación azeotrópica, en un equipo de destilación, empleando un disolvente orgánico inmiscible con el agua (tolueno), el cual se recolecta en un tubo graduado (International Standard, 2021). El resultado de humedad se expresa como porcentaje en masa empleando la siguiente fórmula:

$$H\% = (100 \times V) / m \text{ (Ec. 2)}$$

Donde:

m: es la masa de la porción de prueba en g

V: es el volumen de agua recolectada en mL

Tomando en cuenta una densidad del agua de 1g/mL

Además de otros métodos que emplean equipos como:

6.1.1. BALANZA DE HUMEDAD

En el caso de la balanza de humedad esta consiste en un principio gravimétrico que emplea la técnica de pérdida de agua por secado (Mettler Toledo, s.f). El equipo cuenta con una balanza que mide el peso de la muestra y un sensor que mide el contenido de humedad por medio de una luz infrarroja. Es importante tomar en cuenta que entre mayor cantidad de muestra se agregue más tiempo tarda el equipo en determinar la humedad (Lizano y Pereira, 2020).

6.1.2. ESTUFA

En el caso del método de secado por medio de estufa, este equipo cuenta con circulación de aire con control de temperatura que puede ir desde los 7°C a los 150°C, la capacidad depende del modelo, marca y cantidad de producto

que se requiera secar o determinar humedad (Labomersa, s.f). Esta técnica de medición de humedad es una de las más comunes empleadas para valorar el contenido de humedad de los alimentos, para lo cual se calcula el porcentaje de agua por medio de la pérdida de peso (agua) por calentamiento (García y Fernández, 2020).

$$\text{Humedad}\% = \frac{(p_1 - p_2)}{p_1} \times 100 \text{ (Ec.1)}$$

Donde: p1 corresponde al peso de la muestra antes de secar y p2 al peso de la muestra después de secar.

6.1.3. SECADO EN HORNO

El contenido de humedad se puede determinar en un horno a una temperatura de 105 °C por medio de métodos como AACC (44-15A), aplicable en productos como harina, granos y cereales (Siqueira de Lima et al., 2022). El cálculo de la humedad al igual que con la estufa se realiza por diferencia (Ec.1).

6.1.4. HIGRÓMETROS PARA ACTIVIDAD DE AGUA (Aw)

Otro de los parámetros relacionados con el contenido de humedad presente en una muestra corresponde a la actividad de agua (Aw), representada como el agua libre o disponible para reaccionar de forma química, disolverse, vaporizarse o congelarse (Figura y Teixeira, 2023). El Aw va de una escala de 0 a 1, donde 0 es el mínimo y 1 corresponde al máximo. La reducción de este valor en alimentos restringe el desarrollo de células vegetativas, germinación de esporas, generación de toxinas por parte de las células microbianas y la actividad enzimática (Rifna, et al., 2022).

Este valor se puede medir con equipos como higrómetros, el cual es un equipo de fácil uso, rápido y preciso que puede ser utilizado en las líneas de proceso dado su tamaño. Este consta de un sensor de punto de rocío como una medida de referencia de la actividad de agua, la cual es medida en un rango específico de temperatura que puede ir desde 15°-50 °C (AQUALAB, s.f).

Como es un equipo sensible requiere de una serie de cuidados como el realizar una correcta limpieza de la cámara de medición según las indicaciones del fabricante. Así mismo, es importante tener precaución de no rayar la cámara para no alterar futuras mediciones, además de considerar la calibración correcta del equipo según el rango de Aw esperado (LABFERRER, 2023), lo anterior depende del alimento que se vaya a medir, para el caso de productos secos se espera un valor menor a 0,60.

Estos equipos mencionados anteriormente se resumen en el siguiente cuadro de especificaciones.

Cuadro V. Resumen de especificaciones del equipo empleado para medir humedad, su respectivo uso, ventajas y desventajas

EQUIPO	PRINCIPIO	USO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Balanza de humedad^{1,2}	- Sistema de calentamiento con una lámpara de halógeno recta SRA y tecnología de pesaje SHS - Especificaciones: - Modelo ML-50, precio de \$ 3,347.11, capacidad de 51g de muestra, rango de temperatura de 50-200°C - Modelo MF-50, precio de \$ 3,653.73, capacidad de 51g de muestra, rango de temperatura de 50-200°C, cuenta con más memoria y accesorios - Modelo MX-50, precio de \$4373.15, capacidad de 71g de muestra, rango de temperatura de 30-200°C	- Coloque el plato de la muestra en la posición correcta. - Sujete el asa de la cubierta del calentador para abrir o cerrar. Utilice el asa del plato de la muestra para mover el plato de la muestra. - La vidriera se pone muy caliente, no lo toque hasta que se enfríe. - El plato de la muestra y el asa del plato pueden ponerse muy calientes al finalizarse la prueba, permita que se enfríen antes de manipularlos. - Utilice pinzas o una cuchara para mover la muestra.	- Calentamiento rápido y uniforme - Se puede colocar en las líneas de proceso - Fácil de usar, no requiere personal especializado	- No colocar la balanza en lugar con presencia de materiales inflamables o áreas con presencia de vapor - No se puede mojar
Estufa^{3,4}	- Equipo que cuenta con un sistema de calentamiento y vacío lo que permite la evaporación de las muestras - Especificaciones - Estufa de desecación 30L, rango de temperatura 80-250°C, Peso 39 kg, precio \$1034.49	- Pesar en balanza de 10 a 30 g de la muestra en una cápsula previamente lavada y prepesada - Calentar a 103°C por 3-6h, se puede usar vacío en aquellas muestras con alto contenido de grasa y azúcares, para evitar reacciones de oxidación y acelerar el secado - Enfriar en desecador a temperatura ambiente. No manipular la cápsula con las manos (hacer uso de pinzas) - Pesar hasta alcanzar peso constante - Calcular el porcentaje de humedad por diferencia	Aplicable para la mayoría de los alimentos	- Método destructivo, puede darse pérdidas de compuestos volátiles - Requiere más tiempo para realizar los análisis de humedad
Horno^{2,5,6,7}	- Horno asistido por ventilador que facilita el movimiento del aire dentro de la cámara y garantiza presencia de aire seco alrededor de la muestra - Se extrae el aire húmedo proveniente de la muestra y se reemplaza por aire seco - Especificaciones: - Capacidad 57L, 30 kg, 120 V, T: 5-300 °C, \$ 3,162.98 - Capacidad 114 L, 150 kg, 120 V, T: 5-300 °C, \$ 3,832.86 - Capacidad 225L, 270 kg, 120 V, T: 5-300 °C, \$ 6254.50	- Se pesan 3g de muestra en balanza analítica - Se coloca la muestra en un crisol dentro de la cámara del horno - Se seca por 2h a 135°C - Pesar hasta alcanzar el peso constante - Se determina el contenido de humedad por diferencia	- Evita descomposición térmica - Secado rápido - Método simple	- Requiere de un mayor consumo de energía, sobre todo si se hacen extracciones en húmedo - Se puede dar pérdida de compuestos volátiles - No apto para sustancias que liberen gases corrosivos, pueden degradar, dañar o contaminar el interior del horno
Higrómetro para actividad de agua^{2,8,9}	- AQUALAB 4TE cuenta con un sensor de punto de rocío con un espejo de enfriamiento que mide directamente la actividad de agua - Especificaciones: - Operación entre 4°C-50°C/ 0-90% H.R, rango de medición 0,10 a 1,00 Aw, precio \$ 4,139.79 - Rango de medición 0,030-1,000 aw, operación 4°C-50°C/ 0-90% H.R, temperatura de la muestra 15-50°C, precio \$ 16,699.76	- Calibrar el equipo según la muestra que se vaya a medir (seguir especificaciones del fabricante) - Colocar la muestra en una cápsula e insertar en la cámara - Medir el contenido de humedad	- Velocidad y precisión, mediciones en 5 minutos o menos con una precisión de 30,003. - Puede ser empleado en cualquier punto de la línea de proceso - Limpieza sencilla - Portátil - Fácil de usar - Ideal para mediciones fuera de laboratorio	Es un equipo sensible, no se debe limpiar de forma abrasiva porque se puede rayar la cámara y dar lecturas erróneas

Nota: ¹(Weighing, s.f), ²(TAISA, s.f), ³(García y Fernández, 2020), ⁴(IBD, 2023), ⁵(CARBOLITE GERO, 2024), ⁶(AOAC, 2005), ⁷(Ahn et al., 2014), ⁸(AQUALAB, s.f), ⁹(LABFERRER, 2023).

Como se puede observar en el cuadro anterior del equipo utilizado para medir humedad en la cúrcuma en polvo a nivel de proceso industrial lo recomendable sería utilizar una balanza de humedad por su tamaño y rápida obtención del contenido de humedad, además se puede colocar en las líneas de proceso y no requiere personal especializado, solo capacitado, para usarla.

En el caso que se determine la actividad de agua como parámetro de calidad se puede considerar emplear un higrómetro el cual como se presentó en el cuadro anterior corresponde a un equipo portátil y fácil de usar en las líneas de proceso.

6.2. BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

La calidad de un producto viene desde el campo, por lo que es importante considerar en primer lugar las buenas prácticas agrícolas con la finalidad de evitar posibles fuentes de contaminación que pueden llegar al producto y que involucren peligros físicos, químicos o biológicos. Para lo cual se pueden aplicar técnicas como análisis del suelo, que permiten establecer un correcto manejo y conservación del área a cultivar, mediante:

- Programas de conservación, fertilización, control de plagas y residuos de sustancias químicas, las cuales se aplican según las necesidades del cultivo (MAG, 2008).
- Así como un correcto uso de plaguicidas, conservación del agua y buenas prácticas referentes a la salud y seguridad de los trabajadores (MAG, 2008).

Estas y otras especificaciones se encuentran establecidas en los manuales de siembra y postcosecha de cúrcuma realizados por PROCOMER (s.f), los cuales se recomiendan seguir para obtener alimentos seguros y accesibles para la población, con prácticas amigables con el ambiente que eviten contaminación, posibles pérdidas del producto y que generen productos de calidad (Izquierdo et al., 2007).

6.3. BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA

Una vez que ingresa la materia prima a la planta es necesario seguir las buenas prácticas de manufactura, cuyos criterios se encuentran establecidos y especificados en el RTCA 67.01.33:06 Industria de alimentos y bebidas procesados. Buenas prácticas de manufactura. Principios generales (COMIECO, 2006), donde se incluyen:

- Condiciones de los edificios: esta sección evalúa los alrededores y ubicación de la planta, instalaciones físicas del área de proceso y almacenamiento, instalaciones sanitarias, manejo y disposición de desechos líquidos y sólidos, limpieza y desinfección y control de plagas
- Condiciones de los equipos y utensilios

- Personal: involucra la capacitación, prácticas higiénicas y control de salud.
- Control en el proceso y la producción: involucran las materias primas, operaciones de manufactura, envasado, documentación y registro, almacenamiento y distribución
- Vigilancia y verificación

El uso de buenas prácticas de manufactura (BPM) durante el proceso de elaboración de alimentos asegura la calidad e inocuidad del producto final, que son aspectos por tomar en cuenta y que se deben cumplir en todo establecimiento donde se manipulen alimentos.

6.4. CONTROL DE PELIGROS BIOLÓGICOS

- Para controlar los peligros biológicos es importante considerar las recomendaciones del Código de prácticas de higiene para alimentos con bajo contenido de humedad CXC 75-2015 (FAO, 2018), debido a que han surgido brotes relacionados con el consumo de alimentos de baja humedad con patógenos como *Salmonella spp.* y *Bacillus cereus*.
- En cuanto a *Salmonella* a pesar de que la actividad acuosa (Aw) de los productos secos es menor a 0,85 pueden existir células viables que permanecen en el producto y estas pueden permanecer mucho tiempo en estado seco y desarrollar una resistencia a altas temperaturas. Por lo que, para controlar este tipo de microorganismos se recomienda:
- Seguir un estricto control de higiene durante el procesamiento lo cual se puede lograr con un diseño y una distribución de las instalaciones y las salas higiénicas adecuadas para asegurar el control de contaminantes y disminuir posibles peligros relacionados con patógenos. Se recomienda que las áreas de elaboración de productos secos deben estar excluidas de la humedad del ambiente
- En operaciones donde pueda existir condensación o alto contenido de humedad se recomienda colocar bandejas de goteo o un sistema de ventilación para eliminar la humedad del ambiente, con la finalidad de impedir que la condensación contamine los productos o cree condiciones para la proliferación de patógenos como la *Salmonella* en el entorno de producción. Lo anterior porque una forma de controlar este patógeno en productos con bajo contenido de humedad es restringir el contacto de estos con el agua
- Los equipos deben tener un diseño higiénico que asegure que estos se puedan lavar y desinfectar correctamente
- Recomendable validar un proceso de reducción de microorganismos

patógenos como la *Salmonella*, *Listeria* y *E.coli* con el uso de tratamientos térmicos que involucren la reducción de humedad y concentraciones de desinfección adecuadas. Además de realizar análisis microbiológicos a las materias primas o producto terminado como una medida de control para asegurar la efectividad de las prácticas de inocuidad e higiene

- Evitar la contaminación cruzada
- En el caso de *Bacillus cereus* este es un patógeno termotolerante, por lo que si está presente puede llegar a causar enfermedades a los consumidores. Este patógeno se encuentra en el suelo, alimentos como las especias, es capaz de crecer en un amplio rango de pH, actividad de agua (Aw) y temperatura, además puede formar biopelículas y adherirse a las superficies, lo que dificulta la limpieza y desinfección al volverse resistente (Park et al., 2022b). Es por ello que para su prevención se deben en cuenta los siguientes puntos críticos:
- Mantener la higiene desde la cosecha, hasta el procesamiento del producto e inclusive en el momento de elaborarlo como parte de un platillo
- Evitar la contaminación cruzada

6.5. CALIDAD DE MATERIA PRIMA

Lo primero que se debe verificar antes de iniciar a procesar es la calidad de la materia prima, ya sea que esta se obtenga de forma propia o por terceros (proveedores). En el momento que ingresa la cúrcuma al área de proceso es importante asegurar que se encuentre libre de plagas (roedores insectos), mohos visibles (FAO, 2022), malezas, o daños mecánicos que puedan comprometer la inocuidad del producto, como rupturas en el rizoma. Para esto, se puede implementar un programa de aprobación y verificación de proveedores, donde se evalúen condiciones de inocuidad y medidas de control aplicadas por parte de los proveedores para disminuir presencia de patógenos, además de verificar permisos vigentes y evaluar el nivel de riesgo de la materia prima de ingredientes sensibles (que puedan presentar patógenos). Lo anterior, se puede verificar mediante análisis periódicos de las materias primas al momento de la recepción y al evaluar o auditar el programa de inocuidad de los proveedores (FAO, 2018).

6.6. TECNOLOGÍAS INNOVADORAS O EMERGENTES EN EL SECADO DE CÚRCUMA

La industria de alimentos promueve el desarrollo de nuevas tecnologías que involucren mejoras de calidad del producto, por lo que se realizan continuos estudios relacionados con métodos de secado innovadores o tradicionales mejorados y emergentes, con la finalidad de evaluar cuáles son las mejores condiciones para preservar nutrientes y calidad del producto.

Entre los métodos tradicionales comúnmente empleados para el secado de los alimentos, se puede mencionar el secador de aire caliente, al cual se le pueden agregar tecnologías como la asistida por infrarrojos (IRHAD y IRD) con la finalidad de mejorar la calidad del producto (Fig. 1). Se ha demostrado que el aplicar temperaturas de 60°C ha permitido una máxima retención del contenido de curcumina, oleoresina y almidón y un menor deterioro del color. Además de que IRHAD es catalogado como un método rápido, debido a que este involucra más procesos de transferencia de masa y calor en comparación con otros métodos (Jeevarathinam et al, 2021).

Así mismo, el método de IRD permite la conversión de energía solo cuando las muestras pueden absorber la radiación (Wen et al., 2020), por lo que, al poseer un contenido de humedad adecuado en las rodajas de cúrcuma se tiene la capacidad de absorber la radiación de diferentes longitudes de onda (Jeevarathinam et al, 2021).

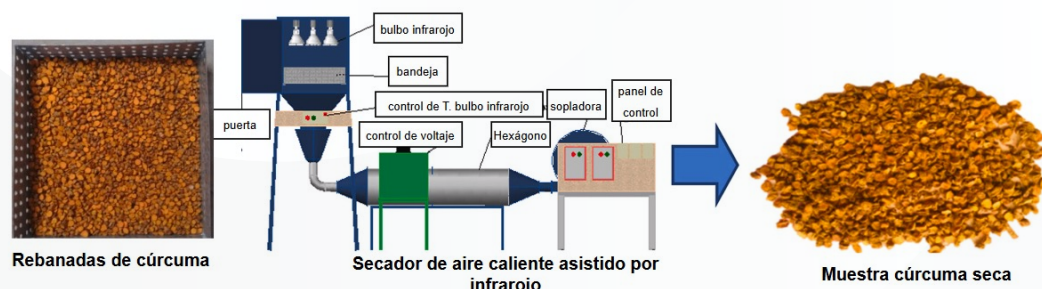


Figura 3. Secador de aire caliente asistido por infrarrojo. Fuente: (Jeevarathinam et al, 2021).

Otro método tradicional corresponde al secado solar como fuente natural de producción de calor, como se ha visto en estudios anteriores, este método tiene una serie de desventajas relacionado con el exceso de tiempo que requiere para llegar a la humedad deseada, lo que da como resultados pérdidas en la composición de la cúrcuma, para contrarrestar este efecto Komonsing et al. (2022), diseñaron un secador de aire caliente con radiación solar simulada por medio de un generador de luz solar instalado sobre la cámara de secado, que a su vez está cubierto por una lámina de policarbonato (Figura 2). En este estudio se determinó un mejor contenido de curcuminoides al aplicar temperaturas de secado de 70°C, por el contrario, se obtuvo una mayor degradación a 40°C debido a un mayor tiempo de exposición de la temperatura durante el secado (14,22 h).

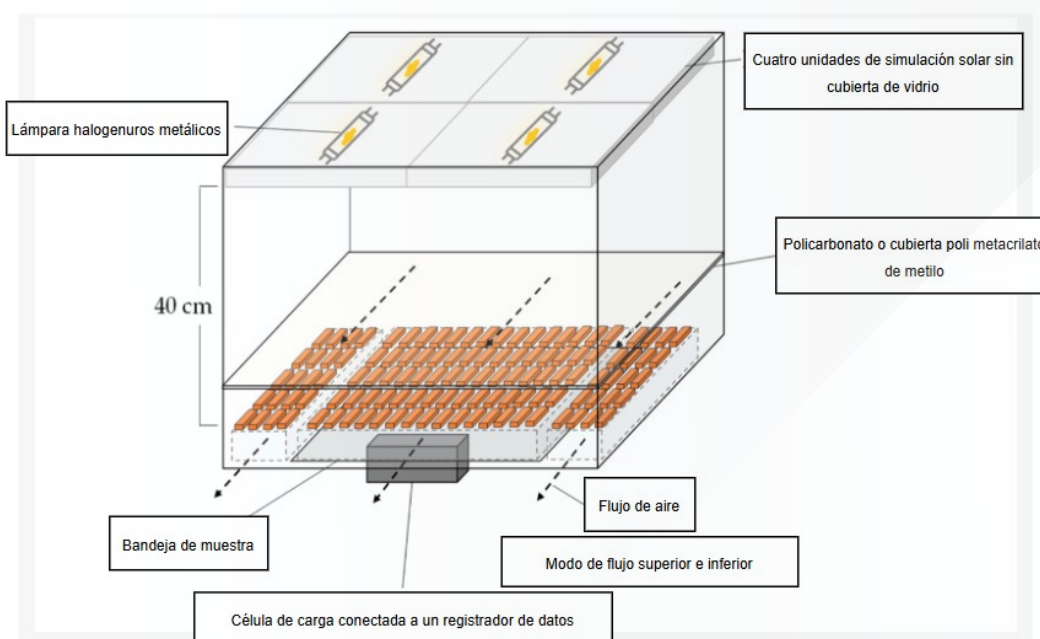


Figura 4. Secador de aire caliente con radiación solar simulada. Fuente: (Komosing et al., 2022).

En cuanto a tecnologías emergentes aplicadas al proceso de secado de cúrcuma, Park et al. (2022a), han estudiado diversos métodos como lo son: el secado por aspersión (SD) mediante secadores por pulverización, el secado por congelación (FD) mediante el uso de congeladores SE-45, a temperaturas de $-80^{\circ}\text{C}/24\text{h}$, para luego ser secados por un liofilizador a $-70^{\circ}\text{C}/7$ días a 5 mTorr de presión. Uso de aspersión y congelación (SFD), siendo la muestra pulverizada, congelada con nitrógeno y secada a 0,05 mbar de presión. Como resultado de este estudio se obtuvo que los mayores niveles de contenido de polifenoles (TPC) y flavonoides (TFC) se detectaron en preparaciones de polvo de cúrcuma SFD (Park et al., 2022a).

En cuanto al secado por aspersión y congelación, este permite obtener productos secos por medio de una evaporación rápida del agua de un líquido atomizado en la cámara de aspersión, el aire caliente que fluye dentro de la cámara evapora el agua del líquido atomizado, lo que lo convierte en sólido, esta técnica aunque es costosa y compleja, presenta una serie de ventajas, en comparación con otros métodos, relacionadas con la estructura, calidad, retención de compuestos volátiles y bioactivos del producto (Ishwarya, et al., 2015).

Además, se han empleado métodos de secado como el lecho fluidizado (FBD) en comparación con secado en horno de convección y secador solar tradicional, de los tres métodos empleados solo el secado solar presentó degradación del contenido de curcuminoides y en el lecho fluidizado se obtuvieron buenos resultados en el contenido de curcumina y capacidad antioxidante aplicando

temperaturas entre 50-80°C (Llano et al., 2022). Esta última técnica, tiene como ventajas el producir alimentos secos de manera uniforme y rápida, lo que da como resultado una disminución en el consumo de energía (Majumder, et al., 2023). Además, es apto para alimentos que tienen formas diferentes como frutas, verduras o granos, excepto para los productos que son cohesivos, debido que se adhieren y aquellos difíciles de fluidizar, como solución a este tipo de productos se puede modificar el FBD y tener una humedad controlada o bien se puede aplicar el secado de FBD híbrido asistido por microondas, FIR o ultrasonidos (Sivakumar, et al., 2016).

Dichos métodos se presentan como una opción a tomar en cuenta, si en un futuro se quiere mejorar las condiciones de secado, la cual corresponde a una operación muy importante.

7. OTRA ALTERNATIVA DE PROCESO: SECADO SOLAR

Ahora bien, no se descarta la posibilidad de emplear el método de secado tradicional al sol, debido a que este puede ser empleado en MIPYMES e industrias más grandes, al ser un método más económico y amigable con el ambiente al aprovechar la energía solar. Por lo que se plantea como una alternativa el uso de secadores diseñados para el secado de cacao y café.

Los secadores solares se pueden clasificar en directos, indirectos o mixtos. Los secadores directos como los de cabina o los de invernaderos cuentan con una construcción sencilla y económica que utilizan la energía solar directa como fuente de calor (Udomkun et al., 2020). En este tipo de secador el colector y la cámara de secado son el mismo elemento (Besora, 2017). Pueden tener diversos diseños por lo general constan de estructuras metálicas o de madera para colocar el producto (bandeja de secado), así como de láminas de plástico resistentes a los rayos ultravioleta (Almada et al., 2005).

El secador indirecto consta de dos elementos separados, en este caso la radiación solar permite calentar el aire del colector inclinado el cual pasa a la cámara de secado donde se encuentra el producto, este tipo de secador es útil para productos sensibles a la exposición directa al sol (Besora, 2017).

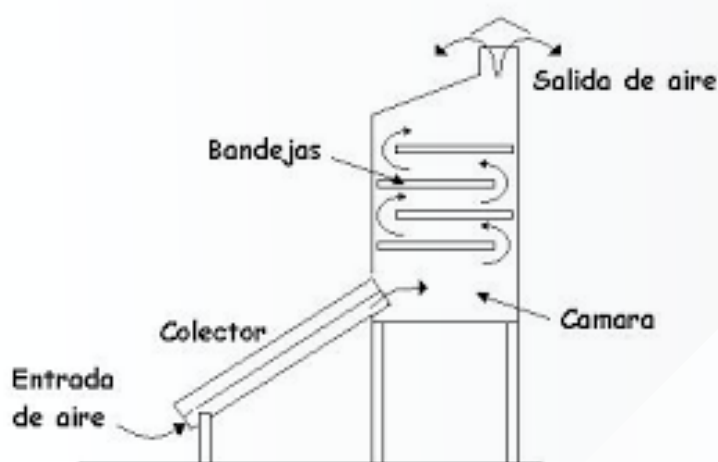


Figura 5. Secador solar indirecto. Fuente: Besora, 2017.

Además, el mismo estudio realizado por Besora (2017) menciona que en los secadores solares mixtos la radiación solar se aplica tanto en la cámara de secado como en el colector (Figura 6).



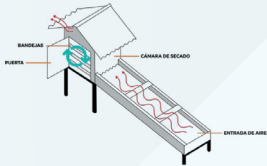
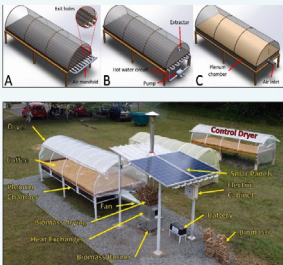
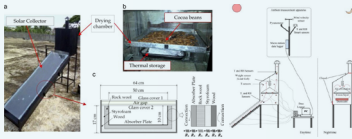
Figura 6. Secador solar mixto. Fuente: Besora, 2017.

Para el caso del secado de cacao se puede aplicar de dos formas por medio de secado natural aprovechando la energía solar o bien con secadores artificiales que funcionan con electricidad, biomasa o combustible fósil. En cuanto a la temperatura de secado esta puede rondar de los 38°C a los 60°C con un contenido de humedad final entre 6-7,5% (INA, 2020).

En cuanto al secado de los granos de café se han utilizado secadores solares con efecto invernadero, tipo túnel, con un tiempo de secado puede ir desde las 10, 24 a 70 h con temperaturas que pueden ir desde los 40 °C a los 60 °C y una humedad final menor al 12 % (Madhu y Ravishankar, 2022).

En el Cuadro VII, se muestran alternativas de secadores de cacao y café donde se aprovecha la energía del sol con sistemas en ambientes más controlados desarrollados gracias a investigaciones y al avance de la tecnología.

Cuadro VI. Secadores de cacao y café que utilizan energía solar como fuente de calentamiento

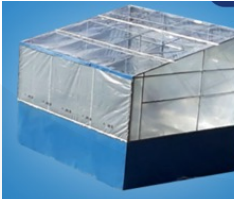
TIPO DE SECADOR	CARACTERÍSTICAS	FIGURAS
Secador de cacao¹	- Diseñado para MIPYMES y emprendimientos del sector alimenticio - Accesible, fácil de construir y mantener - Amigable con el ambiente - Capacidad máxima 15 kg de cacao en 3 días - Humedad recomendada 8%, se alcanza una humedad 7-7,5% en 5 días de forma artesanal se dura 2 semanas	
Prototipo de secador de cacao con ambiente controlado²	- El prototipo fue armado con perfiles de fierro, su estructura fue recubierta con policarbonato traslúcido para permitir el ingreso de los rayos solares y generar calor al interior - Cuenta con dos termoventiladores en cada extremo de la mesa, para mantener la temperatura durante la noche y cinco extractores de humedad para extraer el aire húmedo evaporado de los granos. Ambos equipos eléctricos - Cuenta con sensores de temperatura y humedad - Luego de las pruebas realizadas se instaló un panel solar y un sistema de retroalimentación de aire - La T. fue de 30,6 y 45,2°C. Al cuarto día el grano estaba con un 7,36% de humedad	
Secador solar de cacao mixto³	- Consta de un colector solar de lámina metálica y cobre de diferentes calibres y vidrio templado de 4mm, está conectado a la cámara de secado, mediante un pequeño ducto con materiales de acero inoxidable y lámina metálica - Capacidad de 10kg, temperatura desde 25-45°C	
Secador solar de túnel para café pergamino⁴	- Consta de una estructura de guadua o construida en otros materiales disponibles en la región, una cubierta plástica transparente, un piso de malla plástica y compuertas enrollables de plástico transparente - Con una capacidad de 60 kg, y una velocidad de secado de un día	
Secador solar híbrido de café tipo túnel⁵	- Capacidad de 90kg - Consta de una tela plástica PROSOLAR de doble laminado para cubrir el área de secado. Un intercambiador de calor que introduce el aire caliente del ambiente a la cámara de distribución - El café fue extendido sobre una malla negra - Temperatura registrada de 38-46°C	
Secador solar de cacao⁶	- Temperatura en la cámara de secado durante las horas del sol entre 40 °C a 54 °C/ 30-41h - Consta de una cámara de secado, colector solar y almacenamiento de energía térmica - En el día los granos se secan dentro de la cámara usando aire caliente generado por el colector solar - En la noche el almacenamiento térmico se coloca dentro de la cámara de secado junto con los granos de cacao y la cámara de secado se aísla del aire ambiente.	

Nota:¹(Umaña, ⁴ marzo, 2024), ²(Sandy et al., 2015),³(Erazo et al., 2019),

⁴(CENICAFE, 2006), ⁵(Duque et al., 2023), ⁶(Sari et al., 2015).

Además, las diferentes empresas ofrecen métodos alternativos donde se aprovecha el uso del sol como fuente de energía en equipos que permiten proteger más al producto de los rayos UV y la posible degradación al estar expuesto al sol directo como los que se muestran en el Cuadro VII.

Cuadro VII. Especificaciones del equipo para el secado de cúrcuma utilizando energía solar

EQUIPO	ESPECIFICACIONES	DESVENTAJAS	VENTAJAS
 Secador solar¹	- La energía solar es captada por colectores solares, que envían la energía calorífica a la cámara de deshidratador por medio de un transportador a los núcleos de calor, la presión generada en el interior provoca un calentamiento - Básico de 10-20kg - Semiindustrial hasta 50kg - Industrial hasta 500kg	Largo tiempo de secado	Utiliza energía solar como fuente de calor
  Secador solar de cúrcuma²	El sistema modular permite que el secador sea apto para agricultores tanto como la industria de procesamiento Secador solar tipo caja: - Flujo de aire provocado por un ventilador solar T. máxima 65-70 °C - Agua caliente generada por colectores solares que circulan en el intercambiador de calor de canaletas de la carcasa 2 paneles solares, respaldo eléctrico o generador, control de bombas y ventiladores de circulación de agua caliente - Carga de bandeja: 200 kg Secador solar tipo túnel: T. funcionamiento: 45-65°C - Material de cubierta: lámina de plástico estabilizada con rayos UV - Área de la unidad de secado 15m²	- Control limitado de flujo de aire y temperatura - Largos periodos de secado	- Menor costo operativo al no utilizar electricidad - Sistema fácil de montar y desmontar - Ideal para deshidratar desde frutas, verduras, especias y hierbas - Fácil de operar - Secado higiénico - Secado uniforme de productos
 Secador solar de cúrcuma³	- Consta de un ventilador con un interruptor de control y circuito regulado para eliminación de humedad - Cubierto superior con filtro UV de lámina de policarbonato sólida	- Control limitado de flujo de aire y temperatura - Largos periodos de secado - Pequeño, para uso doméstico - Largos tiempos de secado	- Amigable con el ambiente - Construcción a prueba de polvo e insectos - Impermeable lo que permite un uso higiénico
 Secador solar de cúrcuma⁴	- Temperatura máxima 55-60 °C - Capacidad 5-22 kg - Material de cubierta: láminas de policarbonato - Bobina de calefacción de respaldo - Ventilador de escape automático	Uso doméstico	- Fácil en fabricación e instalación - Disminuye el tiempo de secado en un 40% en comparación con el secado normal - Producto es protegido por la lluvia, insectos, aves y

Nota: ¹(SAECSA, s.f), ²(RADHA, s.f), ³(RUDRA, s.f), ⁴(Focus energy sistem, s.f).

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACE Machinery. (s.f). Marmita industrial a medida de 50 a 100 litros. https://ace-chn.mx/product-category/marmita-industrial/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw7Py4BhCbARIsAMMx_K6cniXbFIQyZ12QG3qcVU9ZxFX6IYQfOpp6dOvvtUWZdEDOuqq50aAoUaEALw_wcB
2. Acuff, J., Dickson, J., Farber, J., Grasso, E., Hedberg, C., Lee A. & Zhu, M. (2023). Practice and Progress: Updates on Outbreaks, Advances in Research, and Processing Technologies for Low-moisture Food Safety. Journal of food protection, 86, 2-20. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2022.11.010>
3. Adeyeye, S., Ashaolu, T. & Surendra, A. (2022). Food drying: A Review. Agricultural Reviews, 1-8. 10.18805/ag.R-2537
4. Ahn, J.Y., Kong, C. & Kim, B.G. (2014). Comparison of Oven-Drying methods for determination of moisture content in fees ingredients. Asian-Australas Journal of Animal Science., 27(11): 1615-1622. 10.5713/ajas.2014.14305
5. Almada, M., Stella, M., Machaí, M. & Claude, J. (2005). Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, plantas medicinales y carnes. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcdef_0000156206&file=/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_00f6a388-eed8-4117-a3b4-20b46c002338%3F_%3D156206spa.pdf&locale=es&multi=true&ark=/ark:/48223/pf0000156206/PDF/156206spa
6. Amalraj, A., Pius, A., Gopi, S. & Gopi, S. (2016). Biological activities of curcuminoids, other biomolecules from turmeric and their derivatives. Journal Tradition Complement Medicine, 7(2), 205-233. 10.1016/j.jtcme.2016.05.005
7. AOAC. (2005). Métodos oficiales de análisis. 18.ª ed. Asociación de Químicos Analíticos Oficiales, AOAC, 2005; 930.14.
8. AQUALAB. (s.f). AQUALAB 4TE Medidor de actividad de agua preciso y confiable. <https://aqualab.com/en/products/aqualab-4te-water-activity-meter>
9. BARNALAB. (5 octubre 2023). Liofilizados. Comparando la liofilización con otros métodos de secado y conservación. <https://www.barnalab.com/blog/liofilizacion-vs-otros-metodos-de-secado/>
10. Besora, J. (2017). Informe técnico para la construcción de un secador solar de café. Ingeniería sin Fronteras. <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/04/Informe-t%C3%A9cnico-secador-solar-de-caf%C3%A9.pdf>
11. Bhosale, S., Kumbhar, P., Patil, O., Landage, K., Kabade, R., Manjappa, A. & Disouza, J. (2023). Lyophilization: principle, methods, and applications. Drug and Pharmaceutical Science Archive, 1(1), 19-23. https://www.researchgate.net/publication/362845958_Lyophilization_principle_methods_and_applications
12. Carbolite Gero. (2024). Drying ovens. <https://www.carbolite-gero.es/es/productos/estufas-de-secado/>
13. CENICAFE. (2006). Secador solar de túnel para café pergamino. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0353.pdf>
14. Chacaguasay, E. & Picho, C. (2016). Diseño y construcción de una marmita cilíndrica con agitador y fonde esférico con rango de temperatura de 70°C a 80°C para producción de 50 litros de aderezos. [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12227/1/UPS-KT01245.pdf>
15. Charoenchai, L., Monton, C., Luprasong, C., & Kraisintu, K. (2020). Pretreatment study of turmeric rhizomes and optimization of drying methods using microwave oven and hot air oven to obtain high quality of turmeric powder. Journal of Current Science and Technology, 10(1), 49-57. https://www.researchgate.net/publication/344218275_Pretreatment_study_of_turmeric_rhizomes_and_optimization_of_drying_methods_using_microwave_oven_and_hot_air_oven_to_obtain_high_quality_of_turmeric_powder
16. Chen, H., Anderson, N., Grasso, E., Harris, L., Marks, B., McGowen, L., Scharff, R., Subbiah, J., Tang, J., Wu, F. & Feng, Y. (2024). Food Safety Research and Extension Needs for the U.S. Low-Moisture Food Industry. Journal of food protection, 87. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100358>

17. Chong, C., Figiel, A., Szummym, A., Wojdylo, A., Lin, B., Hong, C. & Chee, M. (2021). Chapter 5- Herbs drying. Aromatic Herbs in Food, 167-200. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822716-9.00005-6>
18. COBYBSA. (s.f). Marmitas. <https://cobybsa.com/producto/marmitas-2/>
19. CODEX ALIMENTARIUS. (2016). Proposed draft code of practice for the prevention and reduction of mycotoxin contamination in spices, 18.
20. COMIECO. (2006). RTCA 67.01.33:06. Industria de alimentos y bebidas procesados. buenas prácticas de manufactura. principios generales. https://www.comex.go.cr/media/3336/181_rtca-anexo-33.pdf
21. Coronel-Delgado., Ciro-Velasquez, H. & Restrepo-Molina. (2017). Spray drying of liquid extracts of curcumin: process performance and product quality properties. Ingeniería y Competitividad, 19(1), 210-229. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/285ece5b-5389-4b14-8e31-ee3a0c1db4e0/content>
22. Crowley, S.V., & O'Mahony, J.A. (2016). Drying: Effect on Nutrients, composition and health. Encyclopedia of food and health, 439-445. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00242-7>
23. De Ramos, J., Peralta, E., Yaptenco, K., Suministrado, D., & Santiago, M. (2017). Optimization of Parameters in the Production of Turmeric Powder Using a Hammer Mill-Type Pulverizer. Philippine Journal of Agricultural and Biosystems Engineering, 13, 3-15. <https://biomech.uplb.edu.ph/wp-content/uploads/2020/11/PJABE-Vol13-No1-1-2017-de-Ramos-et-al.pdf>
24. Delgado-Plaza, E., Martínez, E., Peralta-Jaramillo, J., Maldonado, F., Reinoso, J., Torres, P., & Carrión, M. (2023). Diseño y construcción de un secador de Lecho Fluidizado a escala para Laboratorio. Digital Object Identifier, 1-9. <https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.1366>
25. Drazic, A., Kutzner, E., Winter, J., & Eisenreich, W. (2015). Metabolic Response of Escherichia coli upon Treatment with Hypochlorite at Sub-Lethal Concentrations. PLoS One, 10(5). doi: 10.1371/journal.pone.0125823.
26. Duque, E., Sanz, J. & Banout, J. (2023). Design and evaluation of a hybrid solar dryer for postharvesting processing of parchment coffee. Renewable Energy, 215, 118961. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.118961>
27. Enache, E., Podolak, R., Katoaka, A. & Harris, L. (2017). Persistence of Salmonella and Other Bacterial Pathogens in Low-Moisture Foods. Wiley, 67. <https://doi.org/10.1002/9781119071051.ch4>
28. FAO. (2018). Código de prácticas de higiene para alimentos con bajo contenido de humedad CXC 75-2015. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXC%2B75-2015%252FCXC_075s.pdf
29. FAO. (2022). Anteproyecto de norma para las raíces secas, rizomas y bulbos – cúrcuma. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/tr/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fmeetings%252FCX-736-06%252FWorking%2Bdocuments%252Fsc06_8_Add1s.pdf
30. FAO. (2015). CODE OF HYGIENIC PRACTICE FOR LOW-MOISTURE FOODS. CODEX Alimentarius.
31. Fekhruzovna, I. S. & Sobirovna, A. N. (2018). Determination of the Amount of Curcumin in Dry Extract of Turmeric (Curcuma Longa L.). European Science Review, 2(9/10), 64-66. <https://cyberleninka.ru/article/n/determination-of-the-amount-of-curcumin-in-dry-extract-of-turmeric-curcuma-longa-l/viewer>
32. Figura, L.O. & Teixeira, A.A. (2023). Water Activity. In: Food Physics. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-27398-8_1
33. Focus energy system. (s.f). Solar turmeric dryer. <https://www.focusunenergysystems.com/solar-dryers.html>
34. Gan, H., Charters, E., Driscoll, R. & Srzednicki, G. (2017). Effects of Drying and Blanching on the Retention of Bioactive Compounds in Ginger and Turmeric. Horticulturae, 3 (13). <https://doi.org/10.3390/horticulturae3010013>
35. García, L. (2012). Diseño de una planta piloto didáctica de intercambio térmico. [Proyecto de Grado, Universidad del Valle]. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/7df5cf95-2334-47d5-9d33-bee260125c54/content>
36. García, E. & Fernández, S. (2020). Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación. Universidad d Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16339/Determinaci%C3%B3n%20de%20humedad.pdf>

37. Guiné, R. (2018). The Drying of Foods and Its Effect on the Physical-Chemical, Sensorial and Nutritional Properties. *International Journal of Food Engineering*, 4 (2), 93-100. <http://www.ijfe.org/uploadfile/2018/0525/20180525042720542.pdf>
38. Gupta, S., Naresh, S., Singh, B. & Alam P. (2022). Role of natural products in alleviation of Huntington's disease: An overview. *South African Journal of Botany*, 151, 263-276. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.10.006>
39. HYWELL. (2024). Secador de bandeja de aire caliente. <https://www.hywellco.com/es/Hot-Air-Tray-Dryer-pd43585461.html>
40. Hobbart. (s.f). Products. <https://www.hobartcorp.com/products>
41. IBD. (2023). Estufas de desecación. IBD ciencia. <https://www.ibdciencia.com/es/estufas-de-desecacion/978-estufa-de-desecacion-20-I.html>
42. Ikemachinery. (s.f). Deshidratador de alimentos para frutas y verduras con temperatura regulable WRH-100T. <https://www.ikemachinery.com/cabinet-food-drying-machine/energy-saving-commercial-food-dry-machine-capable-of-regulating-temperature.html>
43. Ikefood Machinery (s.f). WRH-100GN Food Dehydrator for Fruit Vegetable and Meat. <https://www.ikemachinery.com/cabinet-food-drying-machine/citrus-fruit-vegetable-and-meat-closed-loop-food-dehydrator.html>
44. International Standard. (2021). Spices and condiments — Determination of moisture content. ISO 939. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/71710/bbc8a09e573f4633b4eee6e2119d6c42/ISO-939-2021.pdf>
45. Instituto Nacional de Aprendizaje, INA. (2020). Secado de cacao con uso de secadores solares. https://www.ina-pidte.ac.cr/pluginfile.php/53689/mod_resource/content/2/Secado%20del%20cacao..pdf
46. Isik, A., Ozdemir, M. & Doymaz, I. (2019). Effect of hot air drying on quality characteristics and physicochemical properties of bee pollen. *Food Science Technology*, 39 (1), 224-231. <https://www.scielo.br/j/cta/a/PTwhqDPB8q5WjFcNd9jbhLS/?format=pdf&lang=en>
47. ISO. (2021). ISO 939:2021 Spices and condiments — Determination of moisture content. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:939:ed-2:v1:en>
48. Ishwarya, P., Anandharamakrishnan, C. & Stapley, A. (2015). Spray-freeze-drying: A novel process for the drying of foods and bioproducts. *Trends in Food Science & Technology*, 41 (2), 161-181. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.10.008>
49. Izquierdo, J., Rodríguez, M. & Duran, F. (2007). Guidelines “Good Agricultural Practices for family agriculture”. FAO. <https://www.fao.org/4/a1193e/a1193e00.pdf>
50. Jayashree, E., y Zachariah, J. (2016). Processing of turmeric (*Curcuma longa*) by different curing methods and its effect on quality. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 86 (5): 696. 10.56093/ijas.v86i5.58358
51. Jeevarathinam, G., Pandiselvam, R., Pandiarajan, T., Preetha, P., Balakrishnan, M., Thirupathi, V. & Kothakota, A. (2021). Infrared assisted hot air dryer for turmeric slices: Effect on drying rate and quality parameters. *LWT*, 144, 111258. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111258>
52. Jeevarathinam, G. & Pandiarajan, T. (2016). Impact of Sun Drying on Quality Characteristics of Turmeric Rhizom. *Advances in Life Sciences* 5(14). <https://www.semanticscholar.org/paper/Impact-of-Sun-Drying-on-Quality-Characteristics-of-Jeevarathinam-Pandiarajan/300396d6f2a7641948418cbe7cbb484fd47466ca>
53. Komonsing, N., Reyer, S., Khuwijitjaru, P., Mahayothee, B. & Müller, J. (2022). Drying Behavior and Curcuminoids Changes in Turmeric Slices during Drying under Simulated Solar Radiation as Influenced by Different Transparent Cover Materials. *Foods*, 11(5): 696. 10.3390/foods11050696
54. LABFERRER. (2023). Medidor de actividad de agua AQUALAB 4TE. <https://www.lab-ferrer.com/medidor-de-actividad-de-agua-aqualab-4te/>
55. Labomorsa. (s.f). Estufas para análisis de humedad Te-394/1. <https://labomorsa.com/producto/estufas-para-analisis-de-humedad-te-3941/>
56. Lizano, D. & Pereira, F. (2020). Determinación de cambios en el contenido de humedad resultante del proceso de fritura superficial en preparaciones usuales de la dieta costarricense mediante método de balanza de humedad. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/b12f0011-3b35-4610-8004-8624e06d5bc0/content>
57. Llano, S.M., Gómez, A.M. & Duarte-Correa, Y. (2022). Effect of Drying Methods and Processing Conditions on the Quality of *Curcuma longa* Powder. *Processes*, 10, 702. <https://doi.org/10.3390/pr10040702>

58. Llano, S.M. (2016). Establecimiento de los protocolos de poscosecha para la obtención de una harina de *Curcuma longa* con estándares de calidad internacional. [Tesis de maestría, Corporación Universitaria Lasallista. <https://repository.unilasallista.edu.co/server/api/core/bitstreams/c1f5e6b9-00cd-480c-b944-60ae188687f5/content>
59. Madhu, R. & Ravashankar M.D. (2022). Development of solar coffee dryer using Forced Convection. *International Journal of Advances in Engineering and Management*, 4 (3), 528-537. https://ijaem.net/issue_dcp/Development%20of%20Solar%20Coffee%20Dryer%20using%20Forced%20Convection.pdf
60. Mahendran, R., Ajay, S. & Anandakumar, S. (2016). Fundamentals of Computer Vision System for Sorting and Grading of Food Products. Reference module in food science. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03092-4>
61. Mahran, R.I., Hagra, M.M., Sun, D. & Brenner, D. (2017). Bringing Curcumin to the Clinic in Cancer Prevention: a Review of Strategies to Enhance Bioavailability and Efficacy. *The AAPS Journal* 19, 54-81. <https://doi.org/10.1208/s12248-016-0003-2>
62. Majumder, P., Deb, B., Gupta, R. & Sablani, S. (2022). A comprehensive review of fluidized bed drying: Sustainable design approaches, hydrodynamic and thermodynamic performance characteristics, and product quality. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53 (C). <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102643>
63. Maruchek, A. (2016). Product safety and the food supply chain. Reference in food science. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03127-9>
64. Mettler Toledo (s.f). Balanza de humedad. https://www.mt.com/es/es/home/products/Laboratory_Weighing_Solutions/moisture-analyzers/moisture-analyzer/moisture-balance.html
65. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2008). Buenas prácticas agrícolas (Guías BPA). https://www.sfe.go.cr/Publicaciones/Manual_BPA_1.pdf
66. Monton, C., Luprasong, C. & Charoenchai, L. (2019). Convection combined microwave drying affect quality of volatile oil compositions and quantity of curcuminoids of turmeric raw material. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 29(4), 434-440. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2019.04.006>
67. Moreno, F.N. (2023). Estudio de las condiciones de proceso para deshidratación de cúrcuma orgánica (*Curcuma longa*) producida en Vichada y su aplicación como colorante natural. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/85050/1002758895.2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
68. Narayan, K.G., Sinha, D.K. & Singh, D.K. (2023). *Bacillus cereus*. *Veterinary Public Health & Epidemiology*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7800-5_38
69. Ngamwonglumlert, L. & Devahastin, S. (2018). 8 - Microstructure and its relationship with quality and storage stability of dried foods. *Food microstructure and its relationship with quality and stability*, 139-159. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100764-8.00008-3>
70. Ocampo, J. (2018). Tecnificación del secado de cúrcuma permitiendo un proceso continuo de producción elaborado por pequeños productores orgánicos de Santa Rosa. [Universidad Católica de Pereira]. <https://repositorio.ucp.edu.co/server/api/core/bitstreams/d4240645-053b-415d-ba2f-5b1c1e6702c2/content>
71. Erazo, E., Bastias, J., Acosta, J. & Herrera, C. (2019). Implementación de un secador de cacao a pequeña escala para disminuir el tiempo de secado y conservar las propiedades organolépticas en el consejo comunitario las Varas Tumaco (Nariño). 2º Congreso Latinoamericano de Ingeniería, Universidad Mariana San Juan de Pasto, Colombia.
72. Omve. (s.f). Planta de procesos. <https://omve.com/es/process-plants/>
73. Park, J., Do, S., Lee, M., Ha, S. & Lee, K. (2022a). Preparation of turmeric powder with various extraction and drying methods. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(39). <https://doi.org/10.1186/s40538-022-00307-1>
74. Park, K.M., Kim, A.Y. & Kim, H.J. (2022b). Prevalence and characterization of toxigenic *Bacillus cereus* group isolated from low-moisture food products. *Food Science Biotechnology*, 31, 1615-1629. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01144-6>
75. Parmar, R., Dabhi, M. & Rathod, P. (2023). Effect of drying temperature on proximate components of turmeric rhizome in tray dryer. *South Florida Journal of Environmental and Animal Science*, 3 (4), 174-181. 10.53499/sfjeasv3n4-002
76. Prasath, D., Kandianan, K., Aarthi, S., Sivaranjani, R., Sentamizh Selvi, B. & Raghuveer, S. (2024). Turmeric. In: Ravindran, P.N., Sivaraman, K., Devasahayam, S., Babu, K.N. (eds) *Handbook of Spices in India: 75 Years of Research and Development*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3728-6_26

77. PROCOMER. (s.f.a). Manual Técnico de siembra de cúrcuma. <https://www.procomer.com/wp-content/uploads/Manual-de-siembra-curcuma.pdf>
78. PROCOMER. (s.fb). Manual Técnico poscosecha de cúrcuma. <https://www.procomer.com/wp-content/uploads/Manual-de-poscosecha-curcuma.pdf>
79. Radha. (s.f). Solar turmeric dryer. <https://www.radhasolar.com/solar-turmeric-dryer.html>
80. Ray, A., Mohanty, S., Jena, S., Sahoo, A., Acharya, L., Chandra, P., Sial, P., Duraisamy, P. & Nayak, S. (2022). Drying methods affects physicochemical characteristics essential oil yield and volatile composition of tumeric (*Curcuma longa* L.). Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatics Plants, 26. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100357>
81. Raza, A., Ali, M.A., Yusof, Y.A., Nasir, A. & Muneer, S. (2018). Effect of different drying treatments on concentration of curcumin in raw *Curcuma longa* L. Food Research, 2(6): 500-504. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.2\(6\).109](https://doi.org/10.26656/fr.2017.2(6).109)
82. RF Systems. (2020). Secadores de radiofrecuencia. <https://www.rfsystems.it/es/procesamiento-alimentos-radio-frecuencia/secadores-radio-frecuencia-para-alimentos/>
83. Rifna, E.J., Dwivedi, M. & Chauhan, O.P. (2022). Role of Water Activity in Food Preservation. Chauhan, O.P. (eds) Advances in Food Chemistry. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4796-4_2
84. RUDRA. (s.f). Solar turmeric dryer. <https://www.rudrasolarenergy.in/solar-turmeric-dryer.htm>
85. Saha, G., Sharangi, A.B., Upadhyay, T.K., Al-Keridis, L.A., Alshammari, N., Alabdallah, N.M. & Saeed, M. (2022). Dynamics of Drying Turmeric Rhizomes (*Curcuma longa* L.) with Respect to Its Moisture, Color, Texture and Quality. Agronomy, 12, 1420. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061420>
86. SAECSA. (s.f). Deshidratadores solares en Costa Rica. <https://saecsaenergiasolar.com/promoweb-desh/costarica>
87. Sandy, X., Reza, C., Espinoza, J.C. & Arellano, G. (2015). Control de fermentado y evaluación de un prototipo de secador con ambiente controlado para cacao. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/20818>
88. Saravacos, G. & Kostaropoulos, A. (2016). Handbook of Food Processing Equipment. Springer International Publishing Switzerland. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-25020-5>
89. Sari, D., Ambarita, H., Napitupulu, F. & Kawai, H. (2015). Study on effectiveness of continuous solar dryer integrated with desiccant thermal storage for drying cocoa beans. Case Studies in thermal engineering, 5, 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2014.11.003>
90. Sharma, S., Dhalsamant, K., Punyadarshini, P., & Kumar, R. (2021). Quality analysis and drying characteristics of turmeric (*Curcuma longa* L.) dried by hot air and direct solar dryers. LWT, 138. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110687>
91. Siqueira de Lima, M., Resende, O., Rocha, G., Gonçalves, J., Celia, J., Caliar, M., Cabral, D., Correia, J. & Pereira, M. (2022). Effects of drying temperature on the bioactive and technological properties of turmeric (*Curcuma longa* L.) flour. Food Science and technology, 42, 1-9 <https://doi.org/10.1590/fst.76122>
92. Sivakumar, R., Saravanan, R., Perumal, S. & Iniyan, S. (2016). Fluidized bed drying of some agro products - A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 61, 280-301. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.014>
93. TAISA. (s.f). Productos.TAISA. <https://www.taisa.co.cr/Home/Productos>
94. Taizy. (2024). Línea de procesamiento de polvo de jengibre. <https://www.taizyfoodmachine.com/es/ginger-powder-processing-line.html>
95. Thangavel, K. & Dhivyam K. (2019). Determination of curcumin, starch and moisture content in turmeric by Fourier transform near infrared spectroscopy (FT-NIR). Engineering in Agriculture, Environment and Food, 12 (2), 264-269. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2019.02.003>
96. Tips. (s.f). Deshidratador Alimentos Acero Inoxidable de 6 Bandejas QUANTUM PRO 9890176. <https://tipscr.com/deshidratador-alimentos-acero-inoxidable-de-6-bandejas-quantum-pro-9890176?srsId=AfmBOopWSJmOK6rNYETHSweshBFDNjSfQ9pqU3yBv8TXzxbPlmDITYG>
97. Udomkun, P., Romuli, S., Shock, S., Mahayothee, B., Sartas, M., Wossen, T., Njukwe, E., Vanlauwe, B. & Müller, J. (2020). Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa: An innovation landscape approach. Journal of environmental Management, 128, 110730. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110730>
98. Umaña, E. (4 marzo 2024). Secador de cacao diseñado en TCU beneficiará a productores de Upala. UCR, Portal de acción social. <https://accionesocial.ucr.ac.cr/noticias/secador-de-cacao-disenado-en-tcu-beneficiara-productores-de-upala>

99. Vera, M., Dutta, B., Mercer, D., MacLean, H. & Touchie, M. (2019). Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 484-496. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.006>
100. Vishvas. (2024). Masala-Herb Grinder Machine. Spice Grinder Machine VI-1000(B). <https://vishvasoilmaker.com/spice-grinder-machine/>
101. Wang, H., & Ryser, E. (2020). Quantitative transfer and sanitizer inactivation of Salmonella during simulated commercial dicing and conveying of tomatoes. *Food Control*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106762>
102. Wang, R., Shen, X; Su, Y., Critzer, F. & Zhu, M. (2023). Chlorine and peroxyacetic acid inactivation of *Listeria monocytogenes* in simulated apple dump tank water. *Food control*, 144. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109314>
103. Weighing. (s.f). Manual de instrucciones. <https://weighing.andprecision.com/wp-content/uploads/2021/02/M-Series-Manual-ES.pdf>
104. Wen, Y. X., Chen, L. Y., Li, B. S., Ruan, Z. & Pan, Q. (2020). Effect of infrared radiation-hot air (IR-HA) drying on kinetics and quality changes of star anise (*Illicium verum*). *Drying Technology*, 39(1), 90-103. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1696816>
105. Wu, H., Liu, Z., Zhang, Y., Gao, B., Li, Y., He, X., Sun, J., Choe, U., Chen, P., Blaustein, R. & Yu, L. (2024). Chemical Composition of Turmeric (*Curcuma longa* L.) Ethanol Extract and Its Antimicrobial Activities and Free Radical Scavenging Capacities. *Foods*, 13, 1550. <https://doi.org/10.3390/foods13101550>
106. Yang, T., Zaho, B. & He, L. (2019). 8- Raman instruments for food quality evaluation. *Evaluation Technologies for Food Quality*, 119-143. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814217-2.00008-1>
107. YENCHEN. (2024). Molino Fitz. https://www.yenchen.com.tw/es/product/fitz_mill-154.html
108. Zahoor, I., Ahmad, T., Ayoub, W., Farooq, S. & Ahmad, T. (2023). Recent applications of microwave technology as novel drying of food – Review. *Food and Humanity* (1), 92-103. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.05.001>



