



**UNAP**



**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**TECNOLOGÍA DE SECADO APLICADO A ALIMENTOS Y NUTRIENTES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTADO POR:**

**LLILY ESTEFANY SAAVEDRA AMASIFUÉN**

**ASESOR**

**Ing. FERNANDO TELLO CELIS, Dr.**

**IQUITOS, PERÚ**

**2022**

## ACTA DE SUSTENTACIÓN



**UNAP**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Escuela Profesional de  
Ingeniería en Industrias Alimentarias

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL N° 011-  
CGT-FIA-UNAP-2022**

En Iquitos, en las instalaciones del laboratorio de ingeniería, ubicado en la Planta Piloto, sito Av. Freyre N° 610, a los 06 días del mes de mayo de 2022, a horas.....16:00....., se dió inicio a la sustentación pública del informe del examen de suficiencia profesional titulado: "TECNOLOGÍA DE SECADO APLICADO A ALIMENTOS Y NUTRIENTES" presentado por el (la) Bachiller LLILY ESTEFANY SAAVEDRA AMASIFUEN, de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias; para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) en Industrias Alimentarias, que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal N° 0160-FIA-UNAP-2022 del 02 de mayo de 2022, está integrado por:

**Ing. CARLOS ANTONIO LI LOO KUNG, Dr.**  
**Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.**  
**Ing. GIORGIO SERGIO URRO RODRIGUEZ, Mtro.**

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas....ACERTADAMENTE..

El Jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y el informe del trabajo de suficiencia profesional, según promedio final, ha sido:.....APROBADO..... con la calificación ..BUENA..

Estando el (la) bachiller apto(a) para obtener el Título Profesional de Ingeniero(a) en Industrias Alimentarias, Siendo las ....17:00..... se dió por terminado el acto de sustentación.

  
-----  
**Presidente**  
Ing. CARLOS ANTONIO LI LOO KUNG, Dr  
CIP: 75104

  
-----  
**Miembro**  
Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.  
CIP: 71113

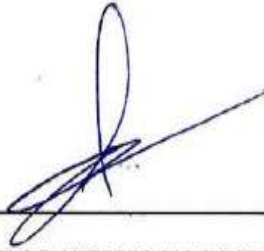
  
-----  
**Miembro**  
Ing. GIORGIO SERGIO URRO RODRIGUEZ, Mtro.  
CIP: 78406

  
-----  
**Asesor**  
Ing. FERNANDO TELLO CELIS, Dr.  
CIP: 47489



## MIEMBROS DEL JURADO

Examen de suficiencia profesional aprobada en sustentación pública en la ciudad de Iquitos en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería de Alimentos ubicado en la avenida Augusto Freyre N° 610, Planta Piloto de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, llevado a cabo el día viernes 06 de mayo de 2022, siendo 16:00 pm, siendo los miembros del jurado calificador los firmantes.



---

Ing. CARLOS ANTONIO LI LOO KUNG, Dr

Presidente



---

Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES Mtro

Miembro



---

Ing. GIORGIO SERGIO URRO RODRIGUEZ, Mtro.

Miembro

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de manera especial a mi padre Eduardo por haberme forjado en la persona que soy actualmente; pues él fue el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentó en mi la base de responsabilidad, a mi madre Nalda pues en ella tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas, deseos de superación y su gran corazón me llevan a admirarla cada día más. Muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con valores y motivaron constantemente a alcanzar mis anhelos profesionales.

A mi esposo Alexis y hermano Christian que son personas que me han ofrecido el amor y calidez de la familia a la cual amo.

Lily Estefany Saavedra Amasifuén

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo. A todos ellos dedico el presente trabajo, porque han fomentado en mí, el deseo de superación y de triunfo en la vida. Lo que ha contribuido a la consecuencia de este logro. Espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

Lily Estefany Saavedra Amasifuén

## ÍNDICE GENERAL

<b>ACTA DE SUSTENTACIÓN</b>	<b>II</b>
<b>MIEMBROS DEL JURADO</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>VIII</b>
<b>ABREVIATURAS</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>X</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Bases teóricas</b>	<b>4</b>
1.1.1 Secado	4
1.1.2 Tecnologías de secado	6
1.1.2.1 Secado solar	6
1.1.2.2 Secado por microondas	7
1.1.2.3 Secado por liofilización	8
1.1.2.4 Secado por infrarrojo	9
1.1.2.5 Secado al horno	9
1.1.2.6 Secado híbrido	10
1.1.2.7 Aplicación de ultrasonidos en diversos procesos de operaciones alimentarios	10
1.1.2.8 Secado de nutrientes por aspersión	11
1.1.3 Secado aplicado a alimentos y nutrientes	12
1.2.3.1 Secado de granos	15
1.2.3.2 Secado de frutas y hortalizas	17
1.2.3.3 Secado de pescado	19
1.1.4 Vitaminas	20
1.1.5 Nutrientes	20
1.1.6 Tecnología de secado para preservar los nutrientes	21
<b>CAPITULO II: CONCLUSIONES</b>	<b>24</b>
<b>CAPITULO III: RECOMENDACIONES</b>	<b>25</b>
<b>CAPITULO IV: FUENTES DE INFORMACIÓN</b>	<b>26</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Contenido de humedad de granos antes y después del secado	19
Tabla 2: Parámetros nutricionales de frutas y hortalizas deshidratadas utilizando diferentes métodos de secado	25

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Secado de frutas y vegetales por convección	17



## ABREVIATURAS

SCRIS	: Secado por congelación y radiación infrarroja secuencial
IR	: Intensidad de radiación
RH	: Reducción de humedad
SS	: Secado al sol abierto
ACG	: Acido clorogénico
LA	: Liofilización por aspersión
SSH	: Sistema solar hibrido
GAE	: Acido gálico equivalente
N	: Newton

## RESUMEN

El secado es un método para conservar frutas, verduras y pescados disminuyendo el volumen y su peso. El secado implica la aplicación de energía para vaporizar y movilizar el contenido de humedad dentro de los productos porosos. Durante este proceso, la transferencia de calor y masa ocurre simultáneamente. La calidad de las frutas deshidratadas, vegetales, y hierbas aromáticas es un problema estrechamente relacionado con el desarrollo y optimización de las nuevas técnicas de secado. Este trabajo de investigación aborda los métodos comunes de secado aplicado a las frutas, granos, pescado y nutrientes con relación a posibles opciones para mejorar la calidad de los productos secos utilizando diferentes técnicas de secado o su combinación. En general, la técnica de secado es diferente para cada uno de los materiales estudiados y se deben recomendar condiciones específicas después de una evaluación adecuada de los protocolos de secado. Sin embargo, una técnica novedosa o combinada debe asegurar una alta calidad de los productos secos. Además, el término calidad debe englobar la eficiencia energética y el impacto ambiental que conduce a la producción de productos deshidratados sostenibles. El secado es el proceso de eliminación de agua, generalmente impulsada por el calor, de productos sólidos y líquidos. Resultando en productos sólidos secos. Dentro de un alimento fresco existen dos tipos de humedad, en primer lugar, el límite humedad caracterizada por el líquido retenido en la microestructura de la parte sólida y en segundo lugar la humedad ilimitada representada por el exceso del agua limitada. La humedad ligada es representada por una solución líquida retenida en una matriz sólida. Esto conduce a la coexistencia de complejos procesos durante el secado térmico de productos alimenticios frescos.

Palabras clave: Secado, secado solar, humedad, actividad de agua.

## ABSTRACT

Drying is a method to preserve fruits, vegetables and fish by reducing their volume, their weight. Drying involves the application of energy to vaporize and mobilize the moisture content within porous products. During this process, heat and mass transfer occur simultaneously. The quality of dehydrated fruits, vegetables, and aromatic herbs is a problem closely related to the development and optimization of new drying techniques. This research work addresses the common drying methods applied to fruits, grains, fish and nutrients in relation to possible options to improve the quality of dried products using different drying techniques or their combination. In general, the drying technique is different for each of the materials studied and specific conditions should be recommended after a proper evaluation of the drying protocols. However, a novel or combined technique must ensure a high quality of the dried products. In addition, the term quality must encompass energy efficiency and environmental impact that leads to the production of sustainable dehydrated products. Drying is the process of removing water, usually driven by heat, from solid and liquid products. Resulting in dry solid products. Within a fresh food there are two types of humidity, firstly, the limit humidity characterized by the liquid retained in the microstructure of the solid part and secondly, the unlimited humidity represented by the excess of limited water. Bound moisture is represented by a liquid solution held in a solid matrix. This leads to the coexistence of complex processes during the thermal drying of fresh food products.

Keywords: Drying, solar drying, humidity, water activity.

## INTRODUCCIÓN

La población mundial aumenta a ritmo acelerado y junto a ello se incrementa la demanda de alimentos. Al mismo tiempo se han desarrollado diferentes tecnologías agrícolas para el incremento de la producción de alimentos para satisfacer la demanda (Islam et al. 2019).

Todos los años se desperdicia una gran cantidad de alimentos producidos debido al almacenamiento inadecuado de los alimentos. Esto ocurre por una capacidad de almacenamiento limitada, alta carga de almacenamiento, problema de transporte. Entonces, los agricultores desperdician los alimentos siendo pérdida para ellos. En los países desarrollados se produce biocombustible a partir del exceso de alimentos producidos, pero es un hecho controversial ya que afecta el suministro de alimentos para humanos y de animales. La mayoría de los países en desarrollo enfrentan dificultades para resolver sus problemas alimentarios, ya que su población está aumentando enormemente, pero la calidad y cantidad de los alimentos se está deteriorando debido a la capacidad de procesamiento inferior y la escasez de almacenamiento. Durante la temporada de producción de cualquier alimento su cantidad es abundante, por lo que es más que la demanda y, como resultado, la caída del precio. Por lo tanto, los agricultores deben conservar los alimentos durante un período más largo para suministrarlos más tarde cuando los alimentos no estén disponibles en el mercado. Para la correcta circulación de los alimentos entre la población, es necesaria la reducción de las pérdidas de alimentos sobrantes durante la temporada de cosecha (Mustayen, Mekhilef y Saidur 2014).

El secado es una de las operaciones unitarias más importantes en el procesamiento de alimentos. Se aplica para reducir el contenido de agua de los productos alimenticios, incluidos los cereales, las frutas, las verduras, las especias, la carne y los productos marinos, los productos biotecnológicos y los productos agrícolas. El secado se realiza para prolongar la vida útil de los productos mencionados anteriormente mediante la reducción de la actividad del agua a un nivel bajo como para inhibir el crecimiento de microorganismos, reacciones enzimáticas y otras reacciones de deterioro. El bajo valor de la actividad del agua inhibe el crecimiento de microorganismos y evita la

oxidación y las reacciones enzimáticas. Un producto deshidratado con una actividad de agua inferior a 0,6 es seguro durante un largo período de almacenamiento. La inhibición de microorganismos y la prevención de reacciones indeseables a su vez minimizan o evitan el desperdicio de alimentos. Además, el secado también se aplica para agregar valor a los productos alimenticios debido a algunas características especiales que solo están presentes en forma seca, por ejemplo, sabor, textura, color, valor medicinal, etc. El procesamiento de los productos mencionados anteriormente generalmente está sujeto a varias limitaciones de calidad, que están relacionadas con la seguridad alimentaria, los atributos texturales y sensoriales, la retención de ingredientes bioactivos, la regulación comercial y la aceptación del consumidor (Law, Chen y Mujumdar 2014).

En el escenario actual, la seguridad energética es una de las áreas importantes donde el mundo está continuamente buscando varios métodos y tecnologías. El motivo principal de los investigadores de la energía es reducir el consumo de energía y la búsqueda de fuentes alternativas. Alentar las energías renovables como alternativas para reducir los hidrocarburos y otras emisiones tóxicas. El secado es uno de los procesos que utiliza energía en actividades como la agricultura, el cultivo de caña de azúcar, el té, caucho, pulpa y papel, aguas residuales y desechos industriales, etc. Por ejemplo El secado juega un papel importante en la evaporación de la humedad de los desechos industriales y de aguas residuales que pueden utilizarse como fertilizante (Mathioudakis et al. 2009).

El secado de materiales es un mecanismo importante y esencial durante el proceso de producción en las industrias. El secado de frutas y verduras es un método antiguo utilizado para la conservación de alimentos. Fuentes de energía convencionales como el carbón, gas natural y electricidad se utilizan para la energía térmica necesaria para el secado. Debido al aumento en el costo y la contaminación que implican las fuentes convencionales, se pueden fomentar los sistemas de secado basados en energía solar (Lingayat, Balijepalli y Chandramohan 2021).

En este contexto, los objetivos del secado incluyen la conservación de los alimentos y el aumento de su vida útil al reducir el contenido de agua y la

actividad del agua; evitando la necesidad del uso de sistemas de refrigeración para el transporte y almacenamiento (costosos); reducir los requisitos de espacio para almacenamiento y transporte; diversificar la oferta de alimentos con diferentes características.

## **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Bases teóricas**

#### **1.1.1 Secado**

Varios trabajos han sido desarrollados con la finalidad de aplicar la eliminación del agua de materiales convirtiéndolo es un mecanismo importante y esencial durante el proceso de producción en las industrias. Diferente son los tipos de secadores actualmente disponibles en el mercado. Se utilizan varios parámetros para el rendimiento de los secadores, como la la cantidad de energía requerida para el secado, la eficiencia del colector, han sido discutidos incluido aspectos económicos, ambientales y sociales (Lingayat, Balijepalli y Chandramohan 2021).

En estudio de Pan et al. (2008) evaluaron las características de secado y calidad de las rodajas de banano procesadas con el método de secado por congelación y radiación infrarroja secuencial (SCRIS), usando calentamiento en cada una de las tres intensidades de radiación (IR), 3000, 4000 y 5000 W/m<sup>2</sup> o aire caliente a 62.8 °C. Las muestras pre deshidratadas con reducciones de peso del 20% y 40% obtenidas usando 4000 W/m<sup>2</sup> IR luego se secaron más utilizando liofilización durante varios tiempos para determinar el efecto de la pre deshidratación en la velocidad de secado durante el secado en frío. Las muestras de control se produjeron usando liofilización regular sin pre deshidratación. Los resultados mostraron que la velocidad de secado del calentamiento IR fue significativamente mayor que el secado con aire caliente y con el aumento de IR intensidad. Por ejemplo, tomó 10 y 38 minutos lograr una reducción de peso del 40 % usando IR a 4000 W/m<sup>2</sup> y secado con aire caliente, respectivamente. Sin embargo, las rodajas de banano con pre deshidratación IR se secaron lentamente durante la liofilización en comparación con las muestras sin pre deshidratación, que fue debido a los cambios de textura que ocurrieron durante la pre deshidratación. Se ha llegado a la conclusión de que SCRIS se puede utilizar para producir chips de plátano muy crujientes e inmersión adicional en ácido, mejorando el color del producto y reduce el tiempo requerido de liofilización.

En estudio de Ringeisen, Barrett y Stroeve (2014) construyeron secadores solares, uno para control y el otro para concentrador solar, realizaron ensayos de secado con tomates Roma con un contenido de humedad inicial de aproximadamente el 90 %, en diversas condiciones climáticas, los tomates se consideraron secos al 10% de contenido de humedad. Temperatura, humedad relativa y radiación solar se midieron tanto fuera como dentro de cada uno de los secadores para determinar cómo la adición de un concentrador solar puede afectar la velocidad de secado de los tomates en los secadores solares de cultivos. El concentrador demostró ser efectivo, reduciendo el tiempo de secado en un 21% además de aumentar la temperatura interna del secador y reducir la humedad relativa.

Pirasteh et al.( 2014) en su estudio de reducción de humedad (RH) en frutas hasta un nivel seguro reduce el crecimiento y la reproducción de microorganismos, utilizando energía térmica comparado a fuentes de energía convencionales, como combustibles fósiles y energía eléctrica.

La literatura evidencia varios estudios utilizando el secado al sol abierto (SS) por ser un método tradicional para secar cultivos, frutas, verduras y otros productos desde la antigüedad, sin embargo, evidencia desventajas tales como amplia superficie, que conlleva a baja calidad del producto debido a la contaminación por impurezas, polvo y mayor tiempo de secado para productos con alto contenido de humedad, contaminación por aves y animales, etc. Hay variedades disponibles de otros sistemas de secado basados en energía solar que pueden superar los aspectos negativos del método SS. Estos métodos proporcionan un proceso de secado más eficiente con productos secos de alta calidad (Lingayat, Balijepalli y Chandramohan 2021).

En trabajo de Prosapio y Norton (2017) se analizó la influencia de la deshidratación osmótica en el secado al horno y la congelación para determinar el rendimiento de secado. En primer lugar, se investigaron los efectos de los principales parámetros de deshidratación osmótica con el fin de encontrar las mejores condiciones para la desorción del agua. En segundo lugar, se realizaron experimentos de secado en horno, liofilización y su combinación con pretratamiento osmótico. Se compararon y discutieron los



resultados de cada técnica en términos de contenido final de humedad, actividad del agua, capacidad de rehidratación, propiedades de textura y microestructura. Se ha observado que la aplicación del pretratamiento permite reducir considerablemente el tiempo de procesamiento y conservar mejor las propiedades de los alimentos.

El secado es una de las formas tradicionales de conservar los productos alimenticios, desde la aparición de los primeros seres humanos, donde los egipcios fueron los primeros en utilizar técnicas como la salación y el ahumado, siendo el propósito más importante eliminar parcialmente el agua de la matriz alimenticia y, en consecuencia, prolongar la vida útil y evitar el deterioro de los alimentos (Moradi et al. 2020). El objetivo principal del secado es prolongar la vida útil de los alimentos al reducir su actividad en el agua. Entre los métodos más antiguos de conservación se encuentran el secado, la refrigeración y la fermentación. Los métodos modernos incluyen el enlatado, la pasteurización, la congelación, la irradiación y la adición de productos químicos. Los avances en los materiales de envasado han jugado un papel importante en la conservación de los alimentos modernos.

Hay muchos métodos disponibles para la conservación de alimentos como el enlatado, tratamiento químico, eliminación de humedad, refrigeración, uso de atmósferas controladas las cuales la eliminación de la humedad, en la cual la radiación solar es la energía principal (Sharma et al. 1986).

La eliminación de la humedad es el método más adecuado para el secado de alimentos, con alto contenido de humedad que los vuelve propensos a la contaminación microbiana. Por otro lado, los alimentos tienen temperatura máxima para su exposición por lo que el secado es un proceso lento que no debe exceder el límite de temperatura para no modificar la calidad del alimento (Sharma, Chen y Vu Lan 2009). Son varias las ventajas de eliminar el agua de los alimentos reduciendo el desperdicio de alimentos.

### 1.1.2 Tecnologías de secado

#### 1.1.2.1 Secado solar

Los sistemas solares son renovables, económicos y fáciles de operar. Se han desarrollado varios tipos de secadores solares de diferentes diseños

como los basados en cámara, tipo bandeja, contenedor y tipo túnel para productos agrícolas (Fudholi et al. 2015). Recientemente, se desarrolló un secador de túnel solar de modo mixto para secar papas y comparar sus parámetros de calidad con el modelo de secador de capa fina, el secador de túnel solar muestra un mejor rendimiento en la formación de chips de buena calidad y más adecuado para las zonas rurales, así como para industrias de pequeña escala (Eltawil, Azam y Alghannam 2018).

El secado solar es una de las renovables formas de deshidratación de alimentos que pueden reducir el costo de procesamiento para el almacenamiento. Sin embargo, la decoloración del producto es una desventaja a resolver, otra desventaja es una posible infestación microbiana y requiere más tiempo para eliminar la humedad. Además, la energía solar no está disponible por la noche y su intensidad fluctúa durante el día. Por lo tanto, es necesario mejorar el rendimiento del secado para reducir el tiempo de secado (Mustayen, Mekhilef y Saidur 2014).

#### 1.1.2.2 Secado por microondas

La creciente preocupación por la calidad del producto y el desarrollo de los productos, los costos han incitado a los investigadores a desarrollar nuevas tecnologías de secado. Una técnica rápida para el secado de frutas y verduras es la tecnología de microondas en la que las radiaciones electromagnéticas juega un papel importante en la producción de calefacción por dentro y por fuera de la matriz alimenticia (Nair et al. 2011). Los alimentos sometidos a secado por microondas tienen contacto con el calor por breve período de tiempo, otorgando mejor calidad para una amplia variedad de productos lo que otorga valor agregado.

El secado en microondas es una alternativa atractiva para muchos problemas que surgen en el secado de material, basado en transferencia conductiva y convectiva. Debido al aumento de la presión de vapor, la humedad del interior del producto puede ser expulsado. El secado por microondas permite el calentamiento dieléctrico que calienta volumétricamente un material que contiene compuesto polar. Cuando un campo electromagnético se aplica a un material dieléctrico, se genera calor,

esto permite la eliminación de la humedad interna incluso en la etapa inicial de secado que es totalmente imposible para secado por convección convencional que solo puede eliminar la humedad de la superficie. En el secado por convección, la eliminación de la humedad interna depende de la migración de humedad a la superficie del material y la evaporación de la humedad en la superficie posteriormente. El secado por microondas ofrece ventajas que incluyen el secado rápido, alta eficiencia energética, energía uniforme y alta conductividad térmica al interior del material, permite control preciso del proceso, utilización del espacio, tiempo de secado más corto, tiempos cortos de inicio y apagado, prevención de reacción de enzimas y proliferación microbiana. Sin embargo, también presenta algunos inconvenientes que limitan su aplicación en la industria de alimentos de procesamiento, por ejemplo, altos costos de puesta en marcha y tecnología relativamente complicada en comparación con el simple secado por convección convencional, patrones de calentamiento no uniformes que son causados por el enfoque, el calentamiento de las esquinas y los bordes, el campo electromagnético no homogéneo, la forma y la composición del material de secado (Law, Chen y Mujumdar 2014).

#### 1.1.2.3 Secado por liofilización

La liofilización es una técnica útil para secar frutas y verduras, su funcionamiento se basa en el principio de sublimación de productos congelados, debido a la baja temperatura, todos los procesos químicos y microbiológicos en curso se detienen y se obtiene un producto seco (Ratti 2001).

En trabajo de Pérez-Gregorio et al. (2011) utilizando liofilización consiguieron aumentar la concentración de flavonoides y antocianinas en cebollas rojas (hasta seis meses de almacenamiento). También en estudio de Nemzer et al. (2018), se ha informado que bayas (arándanos, cerezas ácidas, fresas y arándanos) sometidos a liofilización mostraron mayor retención de ácido ascórbico y contenido fenólico en comparación con secado al aire que produjo menor cantidad y de calidad diferente.

La liofilización de materiales biológicos es uno de los mejores métodos de remoción de agua y da como resultado un producto final de calidad mucho mayor en comparación con cualquier otra técnica de secado. La liofilización implica la congelación rápida del agua libre presente en el material y sublimación posterior de la fracción de hielo donde el agua pasa del estado sólido al estado de vapor. La liofilización utiliza temperatura baja, lo que influye en el retraso de actividades microbiológicas, dando como resultado mejor calidad del producto final. Recientemente, el mercado de productos orgánicos ha aumentado, por lo tanto, la liofilización de estos productos está ganando terreno en el mercado actual (Hsu et al. 2003).

#### 1.1.2.4 Secado por infrarrojo

El secado de productos perecederos mediante radiaciones infrarrojas ha ganado importancia como el mejor método sustituto de secado para una amplia gama de productos de origen agrícola (Doymaz 2012). El secador infrarrojo trabaja sobre el principio básico en el que las radiaciones se utilizan para secar y calentar el material que contenía humedad, las radiaciones infrarrojas penetran en el material expuesto y elevan la temperatura en el interior. Ofrece una ventaja significativa para productos agrícolas sobre secadores tradicionales. Puede ser considerado como alta eficiencia energética (el uso de energía es menor), resultando en un período de secado mínimo, así como también uniformidad de temperatura en los productos, y alta calidad del producto final (Kocabiyik y Tezer 2009).

#### 1.1.2.5 Secado al horno

El secado al horno es un método de bajo costo, es útil cuando se complementa con otras tecnologías de secado, por ejemplo cuando se combina con secador de lecho fluidizado y secador de horno comparado con secador solar mostró que el  $\beta$ -caroteno y la propiedad de rehidratación son más altas (Prakash, Jha y Datta 2004). De manera similar, el secado en horno de rodajas de cebolla utilizó menos tiempo en secado y fue eficiente en la retención de fenoles y minerales a una temperatura de 70°C (Arslan y Özcan 2010). Cuando fue utilizado secador de horno, en muestras de fresas tenían

más capacidad de rehidratación y mostraron mejor sostenibilidad de sus características estructurales y mecánicas (Prosapio y Norton 2017).

#### 1.1.2.6 Secado híbrido

Los sistemas de secado combinados también son conocidos como sistemas híbridos, dan como resultado una mejor calidad del producto. El principio en el desarrollo de secado híbrido es para mejorar la calidad del producto y reducir las posibilidades de degradación. Asimismo, este sistema es más eficiente, reduce la duración del procesamiento y es fácil de operar. Varias combinaciones de secados fueron probadas como microondas con lecho fluidizado, sistema de secado que mejoró la uniformidad del secado (Onwude et al. 2017). Las combinaciones de fuentes no térmicas y el sistema de secado convectivo de aire caliente es una herramienta eficiente en el procesamiento (secado) como ultrasonido, ultravioleta y campo eléctrico pulsado asistido con secado convectivo de aire caliente. Como resultado de varios estudios de evaluación, se encontró que el sistema solar híbrido (SSH) de secadores desarrollado era factible y económico; como Pangavhane, Sawhney (2002) reportó el uso de SSH para el secado de uvas, (Boughali, Benmoussa, Bouchekima, Mennouche, Bouguettaia, Bechki 2009) probado SSH para rodajas de tomates, reportaron secado de banano maduro a través de SSH de tal manera que energía solar almacenada durante el período de insolación en el agua y utilizada en noches frescas cuando SSH operaba.

#### 1.1.2.7 Aplicación de ultrasonidos en diversos procesos de operaciones alimentarios

El ultrasonido se puede utilizar en el procesamiento de alimentos para diversas operaciones como extracción, secado, filtración, emulsificación, homogeneización, etc. (Singla y Sit 2021). Varias aplicaciones son posibles con ultrasonido para el secado de carne, pescado, frutas y verduras. Una de las ventajas es la reducción del período de secado, mejora la tasa de transferencia de calor y masa, mantiene las características del producto (Kowalski, Mierzwa y Stasiak 2017). Se ha demostrado que el secado asistido por ultrasonido es un excelente sustituto del secado tradicional. La evaporación del líquido se posibilita mediante el “efecto esponja”, que

aumenta la difusión del agua desde el interior hacia la superficie del producto. Durante la combinación de productos, el ultrasonido también influye en el aire de vibración, para eliminar la humedad superficial (Bhargava et al. 2021, Yao 2016).

#### 1.1.2.8 Secado de nutrientes por aspersion

El secado por aspersion es una de las técnicas más antiguas ampliamente utilizado en el área de alimentos y nutrición (Zuidam y Shimoni 2010). Fundamentalmente, el proceso implica la deshidratación de gotitas de fluido atomizado en un sistema convectivo que instantáneamente transforma las gotas en polvo fino seco (Woo y Bhandari 2013). La tecnología es considerada como la más económica y efectivo, basado en la comparación a escala industrial, este tipo de secado es más económico cuando comparado con el secado por congelación y el horno debido al bajo gasto operativo como resultado de menos consumo de electricidad a partir de un breve tiempo de secado. Además, el tiempo de contacto entre los nutrientes y el medio de alta temperatura es relativamente rápido, por lo tanto, la operación de secado es favorable para nutrientes sensibles al calor (Shishir y Chen 2017). La gama de productos elaborados por el proceso de secado incluye aromas, sabores, aceites, probióticos, vitaminas, y nutraceuticos.

Por otro lado, en la industria de alimentos incorpora ingredientes como polifenoles, aditivos volátiles, colorantes, enzimas y bacterias en pequeñas micropartículas para estabilizarlas, protegerlas y preservarlas contra pérdidas nutricionales y de salud. El secado por aspersion es una alternativa para simplificar los procesos de producción de alimentos al convertir sustancias en estado líquido en polvo sólido. Las antocianinas son de gran interés para la industria alimentaria ya que otorgan una amplia gama de colores, así como actividades nutraceuticas. Sin embargo, debido a su baja estabilidad a las condiciones ambientales durante el procesamiento y el almacenamiento, la introducción de esos compuestos en los alimentos es un desafío. Un paso importante en el desarrollo de micropartículas, es la selección de un biopolímero (material de pared) que cumple con los criterios requeridos (Desai y Park 2005).

La técnica de secado por aspersión ha sido ampliamente utilizada para secado de alimentos sensibles al calor, productos farmacéuticos y otros sustancias debido a la rápida evaporación del solvente de las gotitas, aunque más a menudo se considera como un proceso de deshidratación, el secado por aspersión también se puede utilizar como una encapsulación, método que atrapa materiales "activos" dentro de una protección matriz, que es esencialmente inerte al material que se está encapsulado (Mohammed et al. 2020). En comparación con otras técnicas convencionales de microencapsulación, ofrece ventaja de producir micropartículas en una operación relativamente simple de procesamiento continuo.

### 1.1.3 Secado aplicado a alimentos y nutrientes

Los métodos de conservación de alimentos incluyen el secado, siendo ampliamente adaptado, simple y eficiente, utilizado desde tiempos inmemoriales. Si bien el enfoque sigue siendo crear un producto no perecedero, la mayoría de los enfoques de secado convencionales consumen mucha energía y representan alrededor del 15 % de los costos generales de producción (Menon, Stojceska y Tassou 2020).

Los métodos de secado por convección, como el aire del ambiente, el aire caliente y el secado solar, utilizan el aire como medio de secado para evaporar el agua de un producto y eliminar el vapor de agua del secador simultáneamente (Prawiranto, Carmeliet y Defraeye 2020).

Varios métodos de secado comercialmente disponibles, como convección, congelación, microondas, infrarrojos y secado al vacío, se utilizan para procesar frutas y verduras para extender la vida útil y producir refrigerios saludables. Estos métodos de secado se seleccionan y sus parámetros de proceso se optimizan en función de índices de rendimiento clave, incluido el tiempo de secado (Precoppe et al. 2015), el consumo de energía (Atuonwu et al. 2013), costo del equipo (Benedict, Edward y Oboestwe 2019) huella de carbono (Onwude et al. 2022) y atributos de calidad nutricional y sensorial (Jia et al. 2019). Sin embargo, la justificación para seleccionar secadores industriales u optimizar los parámetros de procesamiento de secado en función de los atributos de calidad nutricional de los productos secos aún no

está clara, especialmente para los métodos de secado estándar comunes, como el secado por convección.

Sin embargo, la eliminación del agua suele ser un proceso lento. El prolongado proceso de secado y la temperatura elevada durante el proceso de secado por convección conducen a una pérdida significativa de micronutrientes y compuestos bioactivos en frutas y verduras deshidratadas (Senadeera et al. 2020). En la mayoría de los casos, estas pérdidas nutricionales son significativamente mayores que las diferencias en la calidad final de los productos secados con diferentes métodos de secado o parámetros de procesamiento. Sin embargo, este aspecto rara vez se destaca en la literatura.

Varios investigadores han investigado el efecto de varios métodos de secado, incluido el secado por convección, el secado por congelación, el secado por microondas y el secado por infrarrojos en la retención de nutrientes como la vitamina C, los carotenoides y los polifenoles en los alimentos secos (Wang et al. 2020). Sin embargo, la mayoría de estos estudios no cuantificaron claramente el impacto de diferentes parámetros de procesamiento para el secado por convección o diferentes métodos de secado en la retención absoluta de nutrientes en frutas y verduras deshidratadas. Por lo tanto, hasta la fecha se desconoce cómo se deben sopesar los contenidos nutricionales residuales frente a otros criterios de selección, como el tiempo de secado, el consumo de energía o parámetros de calidad como el color, la textura o la capacidad de rehidratación.

Los diferentes parámetros de procesamiento, como la temperatura del aire, la velocidad del aire y la humedad relativa, afectan las cualidades nutricionales y sensoriales de las frutas y verduras durante el secado por convección. Estos atributos de calidad incluyen carotenoides (mg/100 g de materia seca), contenido fenólico (mg de ácido gálico equivalente (GAE)/100 g de materia seca), capacidad antioxidante (mg/100 g de materia seca), vitaminas (mg/100 g de materia seca), color (luminosidad: 0-100, enrojecimiento o verdoso: -60 a +60, y amarilleo o azulado: -60 a +60), capacidad de rehidratación (%), sabor (puntuación porcentual) y textura (N) (Guiné, Henriques y Barroca 2014). Estas cualidades nutricionales y



sensoriales también se ven afectadas por otros métodos de secado (p. ej., microondas y liofilización). Sin embargo, la pregunta principal aquí es cuántos nutrientes se retienen al final del proceso de secado, ya que esto es importante para el consumidor. Es importante determinar si, además de aumentar la vida útil, el cambio de los parámetros del proceso y el uso de diferentes métodos de secado pueden mejorar las dietas nutricionales.

Es importante destacar que estas técnicas están asociadas con mayores emisiones de gases de efecto invernadero, lo que representa una grave amenaza para el medio ambiente. Esto justifica la necesidad de nuevas técnicas de secado sostenibles que también puedan mantener la calidad de los productos alimenticios secos (Moses et al. 2014).

Los procesos de secado reducen la cantidad de nutrientes esenciales tales como vitamina C, carotenoides y fenoles disponibles en los alimentos a base de plantas. Esta reducción es mayor que las diferencias en la calidad final de los productos secados utilizando varios parámetros de procesamiento y, en la mayoría de los casos, diferentes métodos de secado. Sin embargo, este aspecto rara vez se destaca. El impacto de diferentes métodos de secado influye en los diferentes parámetros del proceso, como la temperatura y velocidad del aire y la humedad relativa. Los resultados revelaron que la convección el secado redujo la cantidad de vitamina C, carotenoides y el contenido fenólico de secado de frutas y verduras hasta en un 70%. La reducción de la vitamina C residual y carotenoide contenido de frutas y verduras secas debido a las diferencias en la temperatura del aire (~40%), la velocidad del aire (~20%), y la humedad relativa (~20%) es mucho menor que las pérdidas de calidad nutricional debidas al proceso de secado. Los contenidos residuales de vitamina C, carotenoides y fenoles en las frutas y verduras deshidratadas por convección son aproximadamente un 30 % inferiores a los de los productos liofilizados (Figura 1). Este estudio confirma que se pueden lograr pocas ganancias en la calidad nutricional al optar por un método de secado alternativo u optimización de los parámetros de procesamiento, ya que el proceso de secado da como resultado una baja calidad nutricional de los productos secos. Como tal, el resto de la concentración de micronutrientes de los productos secos no debe ser

necesariamente un criterio decisivo para seleccionar el método de secado o los parámetros de procesamiento más apropiados para las frutas y vegetales. En cambio, otros indicadores clave de rendimiento, como el tiempo de secado, el consumo de energía, o propiedades sensoriales como el color, la textura y la capacidad de rehidratación podrían finalmente tener mayor influencia en el proceso de toma de decisiones (Onwude et al. 2022).

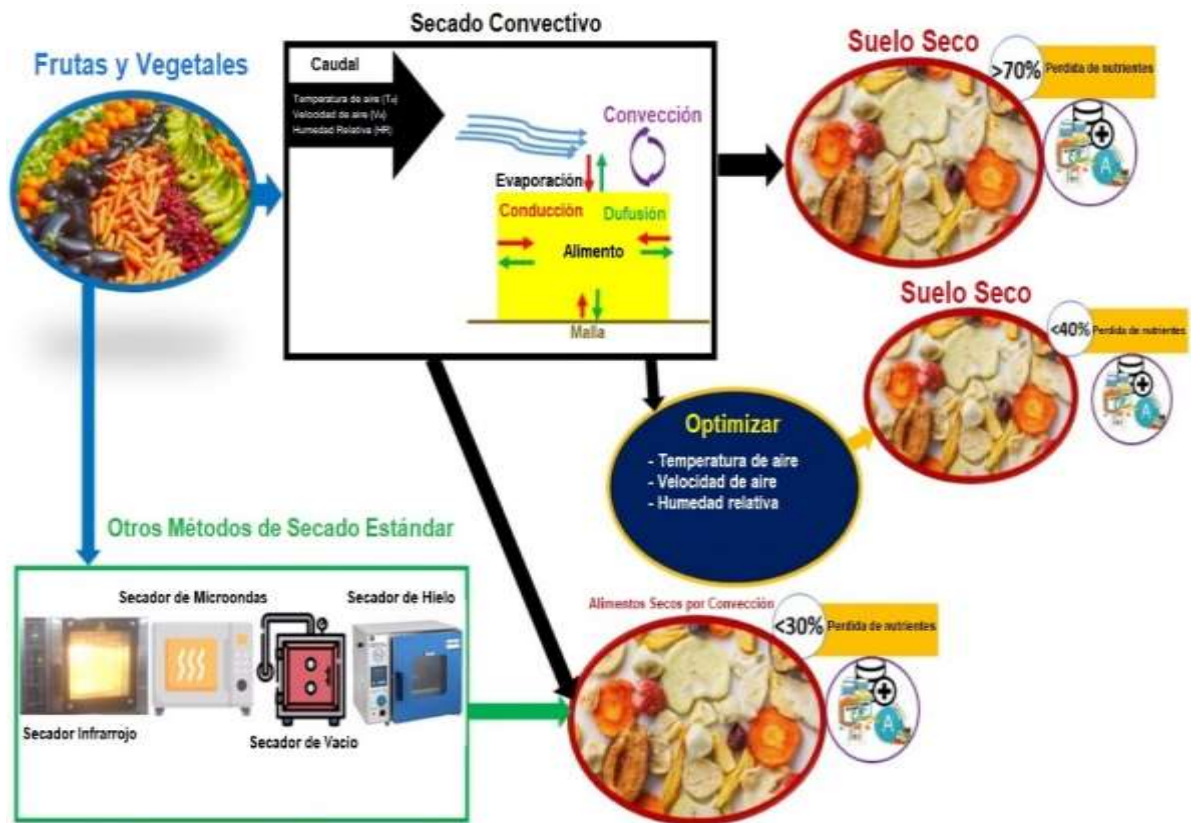


Figura 1. Secado de frutas y vegetales por convección, adaptado de Onwude et al.( 2022).

### 1.2.3.1 Secado de granos

El secado es una parte integral en el tratamiento de los granos para mantener la frescura y la buena calidad de los productos agrícolas, al tiempo que protege las sustancias bioactivas (vitaminas, antioxidantes). El procesamiento permite a largo plazo productos seguros, pero es uno de los pasos que más energía consume en la producción de alimentos. Reducción de los costes de secado por la gestión adecuada de la energía, incluida la

recuperación de calor y la eliminación de la humedad del aire de secado es el desafío actual. La atención se centró en los métodos híbridos (asistidos por microondas, métodos asistidos por infrarrojos y asistidos por ultrasonido), que según los datos pueden reducir el consumo de energía no renovable hasta en 80%. La implementación de innovaciones en el secado es un tema importante considerando la salud del consumidor y la protección del medio ambiente. Técnicas aplicadas para la depuración de gases de escape a partir de nitrógeno óxidos, óxidos de azufre, óxidos de carbono o compuestos orgánicos volátiles por descomposición catalítica también son descrito. También señala la posibilidad de utilizar energía procedente de fuentes renovables (energía solar, geotérmica energética, energía procedente de la combustión de biomasa), minimizando el uso de combustibles fósiles que tienen un impacto negativo en el medioambiente. La difusión del conocimiento en esta área es necesaria para la implementación de soluciones innovadoras a gran escala, lo que permitirá el desarrollo hacia una producción más limpia (Chojnacka et al. 2021).

Muchas industrias utilizan diferentes tipos de secadores de granos, por lo que han desarrollado alternativas de diseño para secadores (Barrozo, Mujumdar y Freire 2014). La condición básica para llevar a cabo el proceso de secado es el movimiento de la energía consumida para la evaporación de la humedad, por lo que los equipos de secado se clasifican de acuerdo con el método de transferencia de calor al material. Hay secadores convectivo, secadores de contacto y secadoras que utilizan campos de energía. La mayoría de ellos pueden operar tanto en modo continuo como por lotes.

Los secadores convectivo representan el mayor grupo de equipos para el secado de granos, en los que el fenómeno de transferencia de calor al material tiene lugar por convección. Entre estos dispositivos, hay soluciones más clásicas que se introdujeron tempranamente en la industria, como secadores de caja, gabinete y cámara con flujo natural y forzado, así como secadores de túnel y de banda. En todos estos dispositivos, el gas de secado puede moverse tanto a lo largo y ancho del material a secar. Los secadores convectivo incluyen secadores de tambor rotatorio directo, que son uno de los primeros diseños de alta capacidad de secado que funciona en modo continuo

(Wae-Hayee et al. 2021). El contenido de humedad del 18 al 25 % en los granos de cereales cosechados se puede reducir mediante el secado (Tabla 1) (Kjær et al. 2018). La baja humedad garantiza un almacenamiento seguro porque protege el grano de los insectos y previene el crecimiento de moho.

Tabla 1. Contenido de humedad de granos antes y después del secado

Producto	Contenido inicial de humedad (%)	Contenido final de humedad (%)	Referencias
Arroz	21.00	10.00	Mehran et al. (2019)
Lenteja roja	16.50	10.50	Taheri, Brodie y Gupta (2020)
Haba de soya	18.00	12.00	Zare y Ranjbaran (2012)
Maíz	31.00	14.00	Viegas et al. (2019)
Canola	18.00	8.00	Hemis et al. (2015)
Semillas de colza	30.00	5.00	Łupińska et al. (2009)
Grano de café	40.00	12.00	Martinez et al. (2017)
Grano de cacao	40.00 – 50.00	6.00-8.00	Nascimento et al. (2013)
Guisante	28.00	5.00-9.00	Yang et al. (2018)

Fuente: Adaptado de Kjær et al. (2018).

### 1.2.3.2 Secado de frutas y hortalizas

Frutas y hortalizas son alimentos de origen vegetal altamente perecederos y con muchos nutrientes para el bienestar humano. Como tales, deben conservarse adecuadamente para aumentar la vida útil. El secado es un método comúnmente utilizado para prolongar la vida útil de los alimentos y reducir el desperdicio de productos frescos (Onwude et al. 2018).

Las frutas, verduras, hierbas y especias secas se producen y se obtienen de muchos países del mundo, pero se ha informado cada vez más que están involucrados en brotes y alertas debido a la presencia de patógenos transmitidos por los alimentos como Salmonella. Estos productos secos se producen principalmente mediante secado solar y secado al aire

convencional, pero una amplia gama de tecnologías de secado está disponible. Desde un punto de vista tecnológico, la tendencia general es optimizar y estandarizar el proceso de secado para garantizar que se ofrezcan productos de alta calidad. Las tecnologías de secado se evalúan principalmente por su desempeño para reducir la actividad del agua a bajo costo de energía manteniendo una buena calidad sensorial del producto seco. Sin embargo, a medida que se reconoce cada vez más que los alimentos con baja actividad de agua favorecen la supervivencia microbiana y los productos deshidratados a menudo se consumen tal cual, o se utilizan como ingredientes en muchos alimentos listos para el consumo, cada vez se presta más atención a la calidad microbiológica y aspectos de seguridad de estos productos. En general, el efecto de inactivación microbiana de las tecnologías presentadas aún no se ha evaluado a fondo, incluso para métodos tradicionales como el secado solar, el secado al aire convencional o la liofilización. Tecnologías emergentes como el secado dieléctrico (asistido) y el secado con vapor sobrecalentado a baja presión reducen las poblaciones microbianas; sin embargo, el número de estudios aún es bajo. Muy pocos estudios se han centrado en la inactivación viral durante los procesos de secado (Bourdoux et al. 2016).

Las frutas y verduras frescas tienen un mayor contenido de humedad y se deterioran en un corto período de tiempo si no se manipulan adecuadamente. Las tecnologías de almacenamiento disponibles, como la refrigeración y las atmósferas controladas, son caras, ya que necesitan energía continua para el funcionamiento del sistema a lo largo de toda la cadena de suministro. Entonces, el uso de técnicas de secado, reduce las pérdidas pos cosecha y proporciona facilidad en el almacenamiento, transporte y asegura la disponibilidad del producto por periodos. El secado de frutas y verduras a través de enfoques convencionales, como el secado al sol o al aire libre, resultó ser un proceso lento y puede dar lugar a un producto de calidad inferior debido a la contaminación (Hasan et al. 2019).

Varias técnicas de secado se aplican a frutas que incluye secado solar, microondas, infrarrojos, congelación, secado en horno y diferentes

tecnologías de secado híbrido han sido desarrollados en todo el mundo y se utiliza con éxito para diversas frutas y verduras (Hasan et al. 2019).

Los productos secos son ampliamente utilizados por las industrias relacionadas con la confitería, la panadería y las industrias de dulces y destilería en el desarrollo de subproductos versátiles que incluyen salsas, tés, budines, guarniciones y suplementos alimenticios para bebés y niños. Las frutas y verduras se pueden secar con la retención adecuada de nutrientes y compuestos que promueven la salud. Las tecnologías de secado específicas de cultivos se han optimizado para la conservación de la calidad de los productos deshidratados (Hasan et al. 2019).

#### 1.2.3.3 Secado de pescado

El pescado es una fuente importante de proteína de alta calidad requerida en la dieta humana (Jain 2006). El pescado es un producto alimenticio altamente perecedero y tiene una vida útil muy corta. El enfriamiento es una técnica de conservación muy utilizada e importante para mantener la calidad y evitar el deterioro y el método más simple de enfriamiento del pescado es la formación de hielo (Jain 2006). Cuando los consumidores no utilizan el pescado fresco, lo transforman o queda como excedente y se desperdicia. El secado del pescado es importante porque lo conserva al inactivar las enzimas y eliminar la humedad necesaria para el crecimiento de bacterias y mohos (Bellagha et al. 2002).

El pescado fresco contiene hasta un 80% de agua. Es un material altamente perecedero y tiene corta vida de almacenamiento. Por lo tanto, es necesario el estudio de la cinética de secado del pescado. En trabajo de Darvishi et al. (2013) estudiaron el efecto del secado por microondas con relación a la velocidad de secado, la difusividad efectiva y el consumo de energía de sardina en la que se examinó cuatro potencias de microondas (200, 300, 400 y 500 W). Se encontró que el contenido de humedad se redujo de 2.76 a 0.01 (base seca) y el tiempo de secado de las muestras se redujo significativamente de 9.5 a 4.25 min a medida que aumentaba la potencia de entrada. Se ajustaron cinco modelos de secado de capa fina a los datos de secado. El secado de las muestras de pescado tuvo lugar en el período de

velocidad decreciente y se rigió por la difusión de la humedad. La difusividad efectiva varió de  $7.158 \times 10^{-8}$  a  $3.408 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s sobre el rango de potencia de microondas.

#### 1.1.4 Vitaminas

Las vitaminas son sustancias orgánicas que se encuentran en los alimentos en pequeñas cantidades, necesarias para el funcionamiento del organismo. Hay trece vitaminas conocidas en la nutrición humana divididas en dos grupos según su solubilidad. Las vitaminas hidrosolubles están compuestas por vitaminas del grupo B (tiamina, riboflavina, niacina, vitamina B6, ácido pantoténico, biotina, ácido fólico y vitamina B12) y vitamina C. Las vitaminas hidrosolubles actúan como coenzimas y están involucrados en muchas reacciones bioquímicas tales como metabolismo energético, metabolismo de aminoácidos, biosíntesis de amino ácidos, ácidos grasos, azúcares de pentosa, síntesis de ADN y transferencia de una unidad de carbono y sirven como antioxidantes en muchas reacciones bioquímicas. Por lo tanto, la vitamina C tiene funciones biológicas esenciales para la piel. Sin embargo, no se entiende completamente cómo algunas vitaminas contribuyen a las reacciones moleculares y celulares que permiten que se lleven a cabo los procesos fisiológicos. Al evaluar los efectos de las vitaminas en la salud, el fundamento científico actual se basa a menudo en principios bioquímicos teóricos y características clínicas. Las deficiencias de vitaminas varían según el país, el género y la edad (Rippin, Hutchinson, Jewell, Breda y Cade, 2017, Morin, Gorman y Lambrakis 2021). ).

#### 1.1.5 Nutrientes

Una de cada tres personas en el mundo sufre algún tipo de desnutrición. Una posible solución a la desnutrición es una diversidad dietética, especialmente diversificando el consumo de vegetales. Sin embargo, no ha habido un método adecuado para garantizar la adquisición de nutrientes balanceados de diversas fuentes vegetales (Li et al. 2021).

El almidón es un componente funcional importante en muchos alimentos y una fuente importante de calorías en la dieta humana. La cocción, la cocción al vapor, la extrusión, la fritura, el salteado y el horneado, como los

seis tratamientos térmicos tradicionales comúnmente utilizados en el procesamiento de alimentos ricos en almidón, inducen cambios en la arquitectura molecular de los gránulos de almidón, lo que altera sus propiedades funcionales, como su capacidad para espesar, gelificar o estabilizar los alimentos. Sin embargo, el conocimiento sobre cómo afectan estos tratamientos térmicos tradicionales a la estructura y propiedades del almidón durante la cocción es difuso. Se consideran tratamientos térmicos fase agua (vapor, cocción y extrusión), fase lipídica (fritura, salteado) y fase aire (horneado). Los principales cambios estructurales inducidos por estos tratamientos son la gelatinización y la retrogradación, que alteran las propiedades texturales de los alimentos ricos en almidón, así como su digestibilidad. Esta revisión proporciona un recurso único que puede ser beneficioso para aquellos que intentan controlar y mejorar las condiciones de procesamiento de los alimentos ricos en almidón. Finalmente, se destacan los futuros desarrollos y desafíos en el procesamiento térmico de alimentos ricos en almidón.(Wang et al. 2021).

La nanotecnología es un campo emergente rápidamente en la investigación de alimentos, ya que tiene potencial para proporcionar soluciones a problemas importantes en el procesamiento, almacenamiento y consumo de alimentos. Se han desarrollado diferentes nanoestructuras, cada una con su elección de ingredientes, estrategia de producción, funcionalidad y aplicación específicos. Las interacciones intermoleculares juegan un papel importante en los procesos de autoensamblaje que son la base de la producción de nanoestructuras. Las aplicaciones más estudiadas de la nanotecnología en la producción de alimentos se centran actualmente en la encapsulación de ingredientes funcionales, la construcción de estructuras, los biosensores y el envasado. También se destaca la importancia de la investigación sobre los posibles efectos adversos de la aplicación de la nanotecnología en los alimentos ("nanotoxicología") (Joye, Davidov-Prado y McClements 2014).

#### 1.1.6 Tecnología de secado para preservar los nutrientes

A lo largo de los años, se han desarrollado diversas técnicas de secado con la finalidad de mejorar la calidad del producto, así como para mejorar la



eficiencia del secado. Entre las diferentes tecnologías de secado que incluye secado por aire caliente, por aspersión, por congelación y cualquier nuevo método de secado que pueda brindar una mejor calidad del producto, a menudo se han investigado con el propósito de seleccionar un método de secado adecuado para un producto específico con respecto a la calidad del producto, los costos de producción y, recientemente, el proceso. sostenibilidad (Karwacka et al. 2020). El secado por aire caliente (SAC) es la técnica comercial más empleada debido a su fácil operación, bajo costo, flexibilidad y alto rendimiento (Zhang et al. 2019). El SAC generalmente se realiza a una temperatura del aire de 50 a 110 °C y una velocidad del aire de 0.1 a 5.0 m/s. La exposición de los alimentos a temperaturas elevadas durante un período prolongado en un proceso SAC puede provocar una degradación significativa de la calidad de los productos secos.

La liofilización, se considera el punto de referencia en calidad para productos alimenticios deshidratados al evaluar diferentes métodos de secado (Chumroenphat et al. 2021). Esto se debe a que para secar se congela el producto a temperatura bajo cero (etapa de sublimación). Los productos que se producen por liofilización son de alta calidad, pero también se considera como un método costoso.

En estudio reciente de Vargas et al. (2022) evaluaron las características de calidad del brócoli, la col rizada y la espinaca secadas con aire caliente (AC), liofilización (L) y el secado de ventana de refracción (SVR), incluidos fenoles, flavonoides, vitaminas, glucosinatos, color y microestructura. Las muestras de brócoli, col rizada y espinacas secadas con SVR tuvieron el mayor contenido de fenoles totales (8,50, 18,77 y 12,40 mg/g, respectivamente). La mayor retención de flavonoides fue encontrada en brócoli L (8,98 mg/g), col rizada SVR (19,51 mg/g) y espinaca SVR (9,31 mg/g). Las muestras L tenían los glucosinatos más altos, seguidos por SVR. Las muestras L y SVR también mostraron menos cambios de color en comparación a las muestras AC, que tenían un color más oscuro que indica degradación de la clorofila.

Concluyendo que la calidad en los vegetales secos es producto de un método de secado específico y, por lo tanto, la selección del mejor método de

secado para un producto debe hacerse considerando tanto la calidad, así como el consumo de energía. Por lo tanto, un énfasis en la tecnología de secado ha sido lograr el objetivo de garantizar el producto, la calidad y la reducción de los costos de producción. Dado que existen muchos métodos de secado tradicionales y nuevos en el mercado, siempre es un desafío para la industria alimentaria seleccionar un método para sus productos.

Tabla 2: Parámetros nutricionales de frutas y hortalizas deshidratadas utilizando diferentes métodos de secado

<b>Método de secado</b>	<b>Parámetro nutricional</b>			
	Perdida de Vitamina C (%)	Compuestos Volátiles	Pérdida de contenido fenólico (%)	Pérdida de contenido carotenoide (%)
<b>Secado convectivo</b>	30–90	retención Bajo-moderado	20–62	12–98
<b>Secado al vacío</b>	18–75	retención Bajo-moderado	70–82	20–50
<b>Secado por infrarrojos</b>	35–41	retención - Bajo	46–80	~20
<b>Secado en microondas</b>	10–52	retención - Bajo	~80	~40
<b>Secado por liofilización</b>	8–20	retención Bajo-moderado	5–31	5–29

Fuente: Adaptado de Onwude (2022).

## **CAPITULO II: CONCLUSIONES**

1. Las técnicas de secado utilizadas actualmente, como el secado solar, el microondas, el secado por infrarrojos y el secado en horno, así como el secado híbrido, resultan ser eficiente en el uso de la energía y el tiempo en comparación con las técnicas tradicionales de secado (sol y aire libre).
2. Las industrias, investigadores y otros interesados se están enfocando en el desarrollo de secadores híbridos que contribuyen a una calidad superior del producto final y de mayor rentabilidad.
3. Se debe considerar varios factores críticos como la calidad del producto, reducción del tiempo de secado, eficiencia energética y relación costo-beneficio, en el desarrollo de nuevos diseños de equipos y sistemas de secado
4. El método de liofilización muestra mejor resultado en cuanto a calidad de producto, a diferencia de otros métodos de secado, en cambio en cuanto a costo no es muy recomendable, por ser un método muy costoso.

### **CAPITULO III: RECOMENDACIONES**

1. Para el desarrollo de las actividades económicas e industriales en el Perú en general y en la amazonia en particular, se debe promover el desarrollo de aplicaciones para el uso de la energía solar, debido al impacto económico y ecológico comparado con el uso de tecnologías que utilizan combustibles fósiles para la generación de energía.
2. Se recomienda utilizar la técnica de liofilización para matrices alimenticias termolábiles.

## CAPITULO IV: FUENTES DE INFORMACIÓN

- ARSLAN, D. y ÖZCAN, M.M., 2010. Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 43, no. 7, pp. 1121-1127. ISSN 00236438. DOI 10.1016/j.lwt.2010.02.019.
- ATUONWU, J.C., VAN STRATEN, G., VAN DEVENTER, H.C. y VAN BOXTEL, A.J.B., 2013. Synergistic process design: Reducing drying energy consumption by optimal adsorbent selection. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 52, no. 18, pp. 6201-6210. ISSN 08885885. DOI 10.1021/ie3030449.
- BARROZO, M.A.S., MUJUMDAR, A. y FREIRE, J.T., 2014. Air-Drying of Seeds: A Review. *Drying Technology*, vol. 32, no. 10, pp. 1127-1141. ISSN 15322300. DOI 10.1080/07373937.2014.915220.
- BELLAGHA, S., AMAMI, E., FARHAT, A. y KECHAOU, N., 2002. DRYING KINETICS AND CHARACTERISTIC DRYING CURVE OF LIGHTLY SALTED SARDINE ( SARDINELLA AURITA ). *Drying Technology*, vol. 20, no. 7, pp. 1527-1538. DOI 10.1081/DRT-120005866.
- BENEDICT, E., EDWARD, D. y OBOESTWE, M., 2019. Development of a Cost-effective Design of a P-V Ventilated Greenhouse Solar Dryer for Commercial Preservation of Tomatoes in a Rural Setting. *Advances in Technology Innovation* [en línea], vol. 4, no. 4, pp. 222-233. ISSN 2415-0436. Disponible en: <https://zuyd.idm.oclc.org/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.9746a2581e8143fabdc581f78abceb74&lang=nl&site=eds-live>.
- BHARGAVA, N., MOR, R.S., KUMAR, K. y SHARANAGAT, V.S., 2021. Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 70, no. June 2020, pp. 105293. ISSN 18732828. DOI 10.1016/j.ultsonch.2020.105293.
- BOUGHALI, S., BENMOUSSA, H., BOUCHEKIMA, B., MENNOUCHE, D., BOUGUETTAIA, H. y BECHKI, D., 2009. Crop drying by indirect active hybrid solar - Electrical dryer in the eastern Algerian Septentrional Sahara. *Solar Energy*, vol. 83, no. 12, pp. 2223-2232. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2009.09.006.
- BOURDOUX, S., LI, D., RAJKOVIC, A., DEVLIEGHIERE, F. y UYTENDAELE, M., 2016. Performance of Drying Technologies to Ensure Microbial Safety of Dried Fruits and Vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 15, pp. 1056-1066. DOI 10.1111/1541-4337.12224.
- CHOJNACKA, K., MIKULA, K., IZYDORCZYK, G., SKRZYPCZAK, D., WITEK-KROWIAK, A., MOUSTAKAS, K., LUDWIG, W. y KUŁAŻYŃSKI, M., 2021. Improvements in drying technologies - Efficient solutions for cleaner production with higher energy efficiency and reduced emission. *Journal of Cleaner Production*, vol. 320, no. August. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.128706.
- CHUMROENPHAT, T., SOMBOONWATTHANAKUL, I., SAENSOUK, S. y SIRIAMORNUN, S., 2021. Changes in curcuminoids and chemical components of turmeric (*Curcuma longa* L.) under freeze-drying and low-

- temperature drying methods. *Food Chemistry*, vol. 339, no. September 2020, pp. 128121. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2020.128121.
- DARVISHI, H., AZADBAKHT, M., REZAEIASL, A. y FARHANG, A., 2013. Drying characteristics of sardine fish dried with microwave heating. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, vol. 12, no. 2, pp. 121-127. ISSN 1658077X. DOI 10.1016/j.jssas.2012.09.002.
- DE LA FUENTE-BLANCO, S., RIERA-FRANCO DE SARABIA, E., ACOSTA-APARICIO, V.M., BLANCO-BLANCO, A. y GALLEGO-JUÁREZ, J.A., 2006. Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics*, vol. 44, no. SUPPL., pp. 523-527. ISSN 0041624X. DOI 10.1016/j.ultras.2006.05.181.
- DESAI, K.G.H. y PARK, H.J., 2005. Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. *Drying Technology*, no. 23, pp. 1361-1394.
- DOYMAZ, I., 2012. Infrared drying of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) slices. *Journal of Food Science and Technology*, vol. 49, no. 6, pp. 760-766. ISSN 00221155. DOI 10.1007/s13197-010-0217-8.
- ELTAWIL, M.A., AZAM, M.M. y ALGHANNAM, A.O., 2018. Solar PV powered mixed-mode tunnel dryer for drying potato chips. *Renewable Energy*, vol. 116, pp. 594-605. ISSN 18790682. DOI 10.1016/j.renene.2017.10.007.
- FUDHOLI, A., SOPIAN, K., BAKHTYAR, B., GABBASA, M., OTHMAN, M.Y. y RUSLAN, M.H., 2015. Review of solar drying systems with air based solar collectors in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 51, pp. 1191-1204. ISSN 18790690. DOI 10.1016/j.rser.2015.07.026.
- GUINÉ, R.P.F., HENRIQUES, F. y BARROCA, M.J., 2014. Influence of drying treatments on the physical and chemical properties of cucumber. *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 8, no. 3, pp. 195-206. ISSN 21934134. DOI 10.1007/s11694-014-9180-9.
- HASAN, M.U., MALIK, A.U., ALI, S., IMTIAZ, A., MUNIR, A., AMJAD, W. y ANWAR, R., 2019. Modern drying techniques in fruits and vegetables to overcome postharvest losses: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 43, no. 12, pp. 1-15. ISSN 17454549. DOI 10.1111/jfpp.14280.
- HEMIS, M., CHOUDHARY, R., GARIÉPY, Y. y RAGHAVAN, V.G.S., 2015. Experiments and modelling of the microwave assisted convective drying of canola seeds. *Biosystems Engineering*, vol. 139, pp. 121-127. ISSN 15375110. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2015.08.010.
- HSU, C., CHEN, W., WENG, Y. y TSENG, C., 2003. Chemical composition , physical properties , and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, vol. 83, pp. 85-92. DOI 10.1016/S0308-8146(03)00053-0.
- ISLAM, M., ISLAM, M.I., TUSAR, M. y LIMON, A.H., 2019. Effect of cover design on moisture removal rate of a cabinet type solar dryer for food drying application. *Energy Procedia*, vol. 160, no. 2018, pp. 769-776. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2019.02.181.
- JAIN, D., 2006. Determination of Convective Heat and Mass Transfer Coefficients for Solar Drying of Fish. *Biosystems Engineering*, vol. 94, no. 3, pp. 429-435. ISSN 15375110. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2006.04.006.

- JIA, Y., KHALIFA, I., HU, L., ZHU, W., LI, J., LI, K. y LI, C., 2019. Influence of three different drying techniques on persimmon chips' characteristics: A comparison study among hot-air, combined hot-air-microwave, and vacuum-freeze drying techniques. *Food and Bioproducts Processing*, vol. 118, pp. 67-76. ISSN 09603085. DOI 10.1016/j.fbp.2019.08.018.
- JOYE, I.J., DAVIDOV-PRADO, G. y MCCLEMENTS, D.J., 2014. Nanotechnology in food processing. *Introduction to Advanced Food Process Engineering*, pp. 315-342. DOI 10.1201/b16696.
- KARWACKA, M., CIURZYŃSKA, A., LENART, A. y JANOWICZ, M., 2020. Sustainable Development in the Agri-Food Sector in Terms of the Carbon Footprint: A Review. *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 16, pp. 1-17. ISSN 20711050. DOI 10.3390/su12166463.
- KJÆR, L.S., POULSEN, M., SØRENSEN, K. y CONDRA, T., 2018. Modelling of hot air chamber designs of a continuous flow grain dryer. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 21, no. 5, pp. 1047-1055. ISSN 22150986. DOI 10.1016/j.jestch.2018.02.002.
- KOCABIYIK, H. y TEZER, D., 2009. Drying of carrot slices using infrared radiation. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 44, no. 5, pp. 953-959. ISSN 09505423. DOI 10.1111/j.1365-2621.2008.01767.x.
- KOWALSKI, S.J., MIERZWA, D. y STASIAK, M., 2017. Ultrasound-assisted convective drying of apples at different process conditions. *Drying Technology*, vol. 35, no. 8, pp. 939-947. ISSN 15322300. DOI 10.1080/07373937.2016.1239631.
- LAW, C.L., CHEN, H.H.H. y MUJUMDAR, A.S., 2014. Food Technologies: Drying. *Encyclopedia of Food Safety*, vol. 3, pp. 156-167. DOI 10.1016/B978-0-12-378612-8.00268-7.
- LI, Y., BAHADUR, R., AHUJA, J., PEHRSSON, P. y HARNLY, J., 2021. Macro- and micronutrients in raw plant foods: The similarities of foods and implication for dietary diversification. *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 102, no. January, pp. 103993. ISSN 08891575. DOI 10.1016/j.jfca.2021.103993.
- LINGAYAT, A., BALIJEPALLI, R. y CHANDRAMOHAN, V.P., 2021. Applications of solar energy based drying technologies in various industries – A review. *Solar Energy*, vol. 229, no. May, pp. 52-68. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2021.05.058.
- ŁUPIŃSKA, A., KOZIOŁ, A., ARASZKIEWICZ, M. y ŁUPIŃSKI, M., 2009. The Changes of quality in rapeseeds during microwave drying. *Drying Technology*, vol. 27, no. 7, pp. 857-862. ISSN 07373937. DOI 10.1080/07373930903021717.
- MARTINEZ, S.J., BRESSANI, A.P.P., MIGUEL, M.G. da C.P., DIAS, D.R. y SCHWAN, R.F., 2017. Different inoculation methods for semi-dry processed coffee using yeasts as starter cultures. *Food Research International*, vol. 102, no. September, pp. 333-340. ISSN 18737145. DOI 10.1016/j.foodres.2017.09.096.
- MATHIOUDAKIS, V.L., KAPAGIANNIDIS, A.G., ATHANASOULIA, E., DIAMANTIS, V.I., MELIDIS, P. y AIVASIDIS, A., 2009. Extended Dewatering of Sewage Sludge in Solar Drying Plants. *Desalination*, vol. 248, no. 1-3, pp. 733-739. ISSN 00119164. DOI 10.1016/j.desal.2009.01.011.

- MEHRAN, S., NIKIAN, M., GHAZI, M., ZAREIFOROUGH, H. y BAGHERI, I., 2019. Experimental investigation and energy analysis of a solar-assisted fluidized-bed dryer including solar water heater and solar-powered infrared lamp for paddy grains drying. *Solar Energy*, vol. 190, no. August, pp. 167-184. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2019.08.002.
- MENON, A., STOJCESKA, V. y TASSOU, S.A., 2020. A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies. *Trends in Food Science and Technology*, vol. 100, no. March, pp. 67-76. ISSN 09242244. DOI 10.1016/j.tifs.2020.03.014.
- MOHAMMED, N.K., TAN, C.P., MANAP, Y.A., MUHIALDIN, B.J. y HUSSIN, A.S.M., 2020. *Spray Drying for the Encapsulation of Oils—A Review*. 2020. S.l.: s.n.
- MORADI, M., AZIZI, S., NIAKOUSARI, M., KAMGAR, S. y KHANEGHAH, A., 2020. Drying of green bell pepper slices using an IR-assisted Spouted Bed Dryer: An assessment of drying kinetics and energy consumption. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 60, no. November 2019. ISSN 14668564. DOI 10.1016/j.ifset.2019.102280.
- MORIN, P., GORMAN, A. y LAMBRAKIS, L., 2021. A literature review on vitamin retention during the extrusion of dry pet food. *Animal Feed Science and Technology*, vol. 277, no. October 2020, pp. 114975. ISSN 03778401. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2021.114975.
- MOSES, J.A., NORTON, T., ALAGUSUNDARAM, K. y TIWARI, B.K., 2014. Novel Drying Techniques for the Food Industry. *Food Engineering Reviews*, vol. 6, no. 3, pp. 43-55. ISSN 18667929. DOI 10.1007/s12393-014-9078-7.
- MUSTAYEN, A.G.M.B., MEKHILEF, S. y SAIDUR, R., 2014. Performance study of different solar dryers: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 34, pp. 463-470.
- NAIR, G.R., LI, Z., GARIEPY, Y. y RAGHAVAN, V., 2011. Microwave drying of corn (*Zea mays* L. ssp.) for the seed industry. *Drying Technology*, vol. 29, no. 11, pp. 1291-1296. ISSN 07373937. DOI 10.1080/07373937.2011.591715.
- NASCIMENTO, M. da S. do, PENA, P.O., BRUM, D.M., IMAZAKI, F.T., TUCCI, M.L.S.A. y EFRAIM, P., 2013. Behavior of Salmonella during fermentation, drying and storage of cocoa beans. *International Journal of Food Microbiology*, vol. 167, no. 3, pp. 363-368. ISSN 18793460. DOI 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.10.003.
- NEMZER, B., VARGAS, L., XIA, X., SINTARA, M. y FENG, H., 2018. Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, vol. 262, pp. 242-250. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2018.04.047.
- ONWUDE, D.I., HASHIM, N., ABDAN, K., JANIUS, R. y CHEN, G., 2018. Investigating the influence of novel drying methods on sweet potato (*Ipomoea batatas* L.): Kinetics, energy consumption, color, and microstructure. *Journal of Food Process Engineering*, vol. 41, no. 4, pp. 1-12. ISSN 17454530. DOI 10.1111/jfpe.12686.
- ONWUDE, D.I., HASHIM, N., JANIUS, R., ABDAN, K., CHEN, G. y OLADEJO, A.O., 2017. Non-thermal hybrid drying of fruits and vegetables: A review



- of current technologies. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 43, pp. 223-238. ISSN 14668564. DOI 10.1016/j.ifset.2017.08.010.
- ONWUDE, D.I., IRANSHAHI, K., RUBINETTI, D., SCHUDEL, S., SCHEMMINGER, J., MARTYNENKO, A. y DEFRAEYE, T., 2022. How much do process parameters affect the residual quality attributes of dried fruits and vegetables for convective drying? *Food and Bioprocess Processing*, vol. 131, pp. 176-190. ISSN 09603085. DOI 10.1016/j.fbp.2021.11.005.
- PAN, Z., SHIH, C., MCHUGH, T.H. y HIRSCHBERG, E., 2008. Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 41, pp. 1944-1951. DOI 10.1016/j.lwt.2008.01.019.
- PANGAVHANE, D.R. y SAWHNEY, R.L., 2002. Review of research and development work on solar dryers for grape drying. *Energy Conversion and Management*, vol. 43, no. 1, pp. 45-61. ISSN 01968904. DOI 10.1016/S0196-8904(01)00006-1.
- PÉREZ-GREGORIO, M.R., REGUEIRO, J., GONZÁLEZ-BARREIRO, C., RIAL-OTERO, R. y SIMAL-GÁNDARA, J., 2011. Changes in antioxidant flavonoids during freeze-drying of red onions and subsequent storage. *Food Control*, vol. 22, no. 7, pp. 1108-1113. ISSN 09567135. DOI 10.1016/j.foodcont.2011.01.006.
- PIRASTEH, G., SAIDUR, R., RAHMAN, S.M.A. y RAHIM, N.A., 2014. A review on development of solar drying applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 31, pp. 133-148. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2013.11.052.
- PRAKASH, S., JHA, S.K. y DATTA, N., 2004. Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. *Journal of Food Engineering*, vol. 62, no. 3, pp. 305-313. ISSN 02608774. DOI 10.1016/S0260-8774(03)00244-9.
- PRAWIRANTO, K., CARMELIET, J. y DEFRAEYE, T., 2020. Identifying in silico how microstructural changes in cellular fruit affect the drying kinetics. *Soft Matter*, vol. 16, no. 43, pp. 9929-9945. ISSN 17446848. DOI 10.1039/d0sm00749h.
- PRECOPPE, M., JANJAI, S., MAHAYOTHEE, B. y MÜLLER, J., 2015. Batch uniformity and energy efficiency improvements on a cabinet dryer suitable for smallholder farmers. *Journal of Food Science and Technology*, vol. 52, no. 8, pp. 4819-4829. ISSN 09758402. DOI 10.1007/s13197-014-1544-y.
- PROSAPIO, V. y NORTON, I., 2017. Influence of osmotic dehydration pre-treatment on oven drying and freeze drying performance. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 80, pp. 401-408. ISSN 00236438. DOI 10.1016/j.lwt.2017.03.012.
- RATTI, C., 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, vol. 49, pp. 311-319.
- RINGEISEN, B., BARRETT, D. y STROEVE, P., 2014. Concentrated solar drying of tomatoes. *Energy for Sustainable Development*, vol. 19, no. 1, pp. 47-55. ISSN 09730826. DOI 10.1016/j.esd.2013.11.006.
- SENADEERA, W., ADILETTA, G., ÖNAL, B., DI MATTEO, M. y RUSSO, P., 2020. Influence of different hot air drying temperatures on drying kinetics, shrinkage, and colour of persimmon slices. *Foods*, vol. 9, no. 1, pp. 5-7.

- ISSN 23048158. DOI 10.3390/foods9010101.
- SHARMA, A., CHEN, C.R. y VU LAN, N., 2009. Solar-energy drying systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 6-7, pp. 1185-1210. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2008.08.015.
- SHARMA, V.K., SHARMA, S., RAY, R.A. y GARG, H.P., 1986. Design and performance studies of a solar dryer suitable for rural applications. *Energy Conversion and Management*, vol. 26, no. 1, pp. 111-119. ISSN 01968904. DOI 10.1016/0196-8904(86)90040-3.
- SHISHIR, M.R.I. y CHEN, W., 2017. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science and Technology*, vol. 65, pp. 49-67. ISSN 09242244. DOI 10.1016/j.tifs.2017.05.006.
- SINGLA, M. y SIT, N., 2021. Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 73. ISSN 18732828. DOI 10.1016/j.ultsonch.2021.105506.
- TAHERI, S., BRODIE, G. y GUPTA, D., 2020. Microwave fluidised bed drying of red lentil seeds: Drying kinetics and reduction of botrytis grey mold pathogen. *Food and Bioprocess Processing*, vol. 119, pp. 390-401. ISSN 09603085. DOI 10.1016/j.fbp.2019.11.001.
- VARGAS, L., KAPOOR, R., NEMZER, B. y FENG, H., 2022. Application of different drying methods for evaluation of phytochemical content and physical properties of broccoli, kale, and spinach. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 155, no. September 2021, pp. 112892. ISSN 00236438. DOI 10.1016/j.lwt.2021.112892.
- VIEGAS, C., SANTOS, P., ALMEIDA, B., MONTEIRO, A., CAROLINO, E., GOMES, A.Q. y VIEGAS, S., 2019. Electrostatic dust collector: a passive screening method to assess occupational exposure to organic dust in primary health care centers. *Air Quality, Atmosphere and Health*, vol. 12, no. 5, pp. 573-583. ISSN 18739326. DOI 10.1007/s11869-018-0650-9.
- WAE-HAYEE, M., YERANEE, K., SUKSUWAN, W., ALIMALBARI, A., SAE-UNG, S. y NUNTADUSIT, C., 2021. Heat transfer enhancement in rotary drum dryer by incorporating jet impingement to accelerate drying rate. *Drying Technology*, vol. 39, no. 10, pp. 1314-1324. ISSN 15322300. DOI 10.1080/07373937.2020.1742150.
- WANG, H., LIU, Z.L., VIDYARTHI, S.K., WANG, Q.H., GAO, L., LI, B.R., WEI, Q., LIU, Y.H. y XIAO, H.-W., 2020. Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, microstructure, and energy consumption of potato (*Solanum tuberosum* L.) cubes. *Drying Technology*, vol. 39, no. 3, pp. 418-431. ISSN 15322300. DOI 10.1080/07373937.2020.1818254.
- WANG, Y., CHEN, L., YANG, T., MA, Y., MCCLEMENTS, D.J., REN, F., TIAN, Y. y JIN, Z., 2021. A review of structural transformations and properties changes in starch during thermal processing of foods. *Food Hydrocolloids*, vol. 113, pp. 106543. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2020.106543.
- WOO, M.W. y BHANDARI, B., 2013. Spray drying for food powder production. *Handbook of Food Powders: Processes and Properties*, pp. 29-56. DOI 10.1533/9780857098672.1.29.
- YANG, Z., LI, X., TAO, Z., LUO, N. y YU, F., 2018. Ultrasound-assisted heat

- pump drying of pea seed. *Drying Technology*, vol. 36, no. 16, pp. 1958-1969. ISSN 15322300. DOI 10.1080/07373937.2018.1430041.
- YAO, Y., 2016. Enhancement of mass transfer by ultrasound: Application to adsorbent regeneration and food drying / dehydration. *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 31, pp. 512-531.
- ZARE, D. y RANJBARAN, M., 2012. Simulation and Validation of Microwave-Assisted Fluidized Bed Drying of Soybeans. *Drying Technology*, vol. 30, no. 3, pp. 236-247. ISSN 07373937. DOI 10.1080/07373937.2011.630765.
- ZHANG, J., CAO, J., PEI, Z., WEI, P., XIANG, D., CAO, X., SHEN, X. y LI, C., 2019. Volatile flavour components and the mechanisms underlying their production in golden pompano (*Trachinotus blochii*) fillets subjected to different drying methods: A comparative study using an electronic nose, an electronic tongue and SDE-GC-MS. *Food Research International*, vol. 123, no. March, pp. 217-225. ISSN 18737145. DOI 10.1016/j.foodres.2019.04.069.
- ZUIDAM, N.J. y SHIMONI, E., 2010. Overview of Microencapsulates for Use in Food Products or Processes and Methods to Make Them. *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*. S.l.: s.n., pp. 3-30. ISBN 9781441910080.