



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
Y BIOTECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Efectos de los métodos de deshidratación de frutas sobre sus
propiedades nutricionales y sensoriales

Trabajo de Titulación, Modalidad: Proyectos de Investigación, previo la obtención del Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Lida Esperanza Japa Paqui

Tutora: Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

Ambato – Ecuador

Marzo – 2022

APROBACIÓN DEL TUTOR

Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

CERTIFICA

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de titulación, bajo la modalidad Proyecto de investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 7 de febrero del 2022

Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

C.I.: 180406708-8

Tutora

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Lida Esperanza Japa Paqui, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de titulación, modalidad Proyecto de investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Lida Esperanza Japa Paqui.

C.I. 110615420-4

Autora

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de titulación, modalidad Proyecto de investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal

Dra. Jacqueline de las Mercedes Ortiz Escobar

C.I. 180217135-3

Ing. Santiago Esmiro Cadena Carrera PhD

C.I. 171560259-3

Ambato, 10 de marzo de 2022

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de titulación o parte de él, como documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de éste, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.



Lida Esperanza Japa Paqui

C.I.: 110615420-4

Autora

DEDICATORIA

A Dios,

A mi ángel que está en el cielo, Mercy Japa

A mis padres, Pedro y Zoila

A mis hermanos, María y Ángel Vicente

A mis sobrinos, Yeniffer, Katty y Yael

A mi adorada tía Antonia

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Pedro y Zoila, por darme la vida. A ti mamita por tu entrega y apoyo incondicional durante mi formación académica, tú me has enseñado que los triunfos se alcanzan con sacrificio.

A mis hermanos María y Ángel Vicente, por creer en mí y por apoyarme en mis decisiones.

A la Universidad Técnica de Ambato por permitirme formar parte de esta prestigiosa Institución.

A mi Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología que me acogió durante mis años de estudio.

A mi apreciada Tutora, Ing. M.Sc. Liliana Acurio Arcos, por su entrega, paciencia, compromiso y sobre todo por la confianza que depositó en mí. Gracias de todo corazón.

A todos mis Maestros y Maestras, quienes con mucha entrega y profesionalismo supieron impartir sus conocimientos.

A mis mejores amigas, Kateryn Caiza y Mónica Gómez, por su amistad desinteresada, por compartir mis sueños y por sus palabras de aliento durante el desarrollo de este proyecto.

A mi amigo, Ing. Christian Choes, por compartir sus conocimientos, por ser una persona que motiva a estudiar.

¡Gracias a todos!

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DERECHOS DE AUTOR	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
NOMENCLATURA	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	16
MARCO TEÓRICO	16
1.1. Antecedentes investigativos.....	16
1.1.1. Justificación.....	16
1.1.2. Deshidratación de alimentos	17
1.1.3. Técnicas usadas en la deshidratación de alimentos.....	20
1.1.4. Secadores empleados en la industria alimentaria.....	24
1.1.5. Conservación de frutas por deshidratación	29
1.2. Objetivos	31
1.2.1. Objetivo general	31
1.2.1. Objetivos específicos	31
CAPÍTULO II	32

METODOLOGÍA	32
2.1. Materiales.....	32
2.2. Métodos	32
2.2.1. Definición del problema.....	32
2.2.2. Búsqueda de la información.....	33
2.2.3. Organización de la información	33
2.2.4. Análisis de información	33
CAPÍTULO III	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
3.1. Análisis y discusión de los resultados.....	34
3.1.1. Importancia de la deshidratación de frutas.....	34
3.1.2. Deshidratación de frutas.....	34
3.1.3. Deshidratación de frutas por evaporación superficial	40
3.1.4. Deshidratación osmótica	55
3.1.5. Deshidratación de frutas por liofilización	60
CAPÍTULO IV	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
4.1. Conclusiones	66
4.2. Recomendaciones	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de los efectos de la deshidratación con aire caliente en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas.....	42
Tabla 2. Análisis de la composición próxima del mango en polvo	44
Tabla 3. Resumen de los efectos de la deshidratación al vacío en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas.	46
Tabla 4. Influencia de la temperatura y tiempo de secado en la pérdida y retención de vitamina C del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i>) seco	49
Tabla 5. Resumen de los efectos del secado solar en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas.....	50
Tabla 6. Resumen de los efectos de la deshidratación por microondas en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas.....	54
Tabla 7. Resumen de los efectos de la deshidratación osmótica en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas.	59
Tabla 8. Relación del contenido de carotenoides totales (mg B-carateno/100g).	63
Tabla 9. Resumen de los efectos de la liofilización en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mecanismos de transferencia de calor: A. Convección; B. Conducción; C. Radiación	18
Figura 2. Elementos de un deshidratador solar indirecto.	21
Figura 3. Ciclos del proceso de liofilización	23
Figura 4. Secador de túnel.	25
Figura 5. Vista esquemática del secador de lecho fluidizado: 1. Resistencias eléctricas; 2. Relé en estado sólido; 3. Termocupla tipo J; 4. Ventilador centrífugo; 5. Motor; 6. Tubo de acrílico.	26
Figura 6. Principio de funcionamiento de un secador de rodillos	28
Figura 7. Métodos de pretratamiento de frutas/verduras antes del secado térmico.	34
Figura 8. Determinación de vitamina C en uchuva deshidratada.	38
Figura 9. Cinética de secado de la uchuva con pretratamiento de ultrasonido (130W/40kHz) durante el secado convectivo utilizando una rapidez de aire de 2m/s y temperatura de 60°C.	39
Figura 10. La interacción del tiempo, el tipo y el ambiente de deshidratación en la pérdida de agua de la fruta de Rambután durante el proceso de deshidratación.	41
Figura 11. Cortes transversales de arándanos rojos sometidos a US (aumento × 100)	41
Figura 12. Comportamiento de la dureza de los cubos de manzana (<i>Malus domestica</i>) durante el proceso de secado a vacío, con y sin la asistencia de US.	45
Figura 13. Comparación del contenido de humedad para diferentes velocidades de aire durante el tiempo de secado	47
Figura 14. Evolución del color de las muestras de pera mediante el secado por convección natural (a) y convección forzada (b).	49
Figura 15. a) Arándanos congelados; b) arándanos congelados sometidos a secado al vacío por microondas a una potencia de 100W.	53

Figura 16. Cinética de eliminación de agua (WL%) del mamey (<i>Mammea americana</i>) para diferentes tratamientos.....	55
Figura 17. Cinética de ganancia de sólidos (SG%) del mamey (<i>Mammea americana</i>) para diferentes tratamientos.....	56
Figura 18. Cinética de secado de rodajas de melón liofilizado. Muestras con pretratamientos de deshidratación osmótica 60 (DOLF-60) y 90 min (DOLF-90); muestras con pretratamiento ultrasonido US-15 (USLF-15) y 30 min (USLF-30); y muestras liofilizadas no tratadas (LF).	60
Figura 19. Influencia de la temperatura del estante de calentamiento sobre el contenido de agua en función del tiempo de rehidratación, para fresas liofilizadas sin pretratamientos. Temperatura: I- 10°C, II-30°C, III-50°C, IV-70°C.....	62

NOMENCLATURA

DO: Deshidratación osmótica

PPO: Enzima polifenol oxidasa

CM: Maceración carbónica

US: Ultrasonido

PEF: Campo eléctrico pulsado

CH: Contenido de humedad

CO₂: Dióxido de carbono

VR: Ventana de refractancia

RESUMEN

Hoy en día, la deshidratación es uno de los métodos más utilizados para la preservación de frutas mediante la reducción de humedad, de manera que ayuda a mantener la estabilidad microbiológica y enzimática durante el almacenamiento. Sin embargo, el secado afecta las propiedades físicas y químicas del producto, y esta afectación depende en gran medida de la técnica de deshidratación utilizada. Los cambios más importantes que se observan en este tipo de procesos son: el colapso estructural, la formación de colores oscuros, pérdida de aroma y sabor, degradación de los compuestos nutricionales, en su mayoría los de carácter termolábil. La presente investigación tuvo como objetivo dar a conocer los efectos de la deshidratación por evaporación superficial, microondas y liofilización, en sus propiedades nutricionales y sensoriales de frutas. En base a revisiones bibliográficas de investigaciones realizadas a nivel mundial, se estableció que las altas temperaturas y tiempos largos de proceso, son los principales factores que afectan la calidad del producto; así como: la potencia del equipo, concentración de la solución osmodeshidratante y de los tratamientos previos al proceso de deshidratación. Finalmente, la información recopilada permitirá a las industrias alimentarias seleccionar el método más adecuado de deshidratación, dependiendo la naturaleza de la fruta y el nivel de calidad del alimento que se desee desarrollar.

Palabras claves: investigación bibliográfica, conservación de alimentos, deshidratación de alimentos, métodos de deshidratación, bromatología.

ABSTRACT

Nowadays the dehydration is one of the most used methods for fruit preservation by reducing moisture, it helps to maintain microbiological and enzymatic stability during storage. However, drying affects the physical and chemical properties of the product, and this affectation depends largely on the dehydration technique used. The most important changes observed in this type of process are: structural collapse, the formation of dark colors, loss of aroma and flavor, degradation of nutritional compounds, mostly those of a thermolabile nature. The objective of this research was to summarize the effects of dehydration by surface evaporation, microwaves and lyophilization, in its nutritional and sensory properties of fruits. Based on bibliographic reviews of research carried out worldwide, it was established that high temperatures and long process times are the main factors that affect product quality; as well as: the power of the equipment, concentration of the osmodehydration solution and of the treatments prior to the dehydration process. Finally, the information collected will allow food industries to select the most appropriate dehydration method, depending on the nature of the fruit and the level of quality of the food to be developed.

Keywords: bibliographic research, food preservation, food dehydration, dehydration methods, bromatology.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Justificación

Las frutas constituyen un grupo de alimentos imprescindibles; sin embargo, al presentar un alto contenido en agua (hasta el 90%), son muy sensibles al deterioro y por ende requieren de un proceso de conservación para alargar su tiempo de vida útil (**Martin-Esparza & Gonzalez-Martinez, 2008a**). Para prolongar la conservación de las frutas se someten a diversos procesos tecnológicos, uno de los métodos más utilizados es el secado (**Feicán-Mejía et al., 2016**), durante este proceso no solo se reduce el contenido de humedad del alimento, sino también que se provoca la pérdida de la funcionalidad en las membranas, causando cambios en las propiedades nutricionales y sensoriales (**Feicán-Mejía et al., 2016**).

Hoy en día, las frutas deshidratadas tienen una gran acogida a nivel mundial, debido a los beneficios y aporte nutricional que brindan (**Catucuamba, 2020**). Sin embargo, la tecnología empleada repercute en la calidad, y desde un punto de vista tecnológico, la elección de la técnica y las condiciones más adecuadas de procesamiento, permiten disminuir daños irreparables de diferente naturaleza (**Escobar Vega, 2020**).

Desde hace varios años la técnica más utilizada para deshidratar alimentos es el secado por aire caliente, debido a su eficiencia, versatilidad y fácil manejo. Sin embargo, las técnicas de deshidratación han ido evolucionando, con el fin de provocar los mínimos cambios en las propiedades del alimento durante el proceso, entre ellas se encuentran la liofilización, deshidratación osmótica, deshidratación a vacío, entre otros.

Cabe mencionar que no todos los métodos de secado son adecuados, en términos de calidad del producto deshidratado; por ejemplo la liofilización y la deshidratación osmótica son técnicas más utilizadas en alimentos con compuestos termolábiles, y debido a las bajas temperaturas con las que se trabaja en estos dos métodos, se evita la pérdida de componentes volátiles (**Fito et al., 2020; Padilla-Frías et al., 2020**).

En base a todo lo expuesto anteriormente, y a la falta de revisiones científicas que abarquen toda la información acerca de los efectos que ocasionan los métodos de deshidratación, sobre las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas, el presente proyecto se centró en profundizar este tema, ya que permitirá tener un conocimiento que podrá ser utilizado al momento de diseñar una operación de deshidratación.

1.1.2. Deshidratación de alimentos

La deshidratación o secado de alimentos es una de las técnicas de conservación que permite alargar la vida útil de los alimentos, y consiste en la eliminación parcial del contenido acuoso (**A. Valencia, 2020**). Es una operación de transferencia de energía y masa simultánea. La primera hace referencia a la transferencia de calor desde los alrededores, hacia el sólido húmedo para evaporar el agua de la superficie del sólido; y la segunda se refiere al movimiento del agua dentro del sólido, para que el vapor salga hacia el exterior (**Moreno et al., 2017**).

Los objetivos de la deshidratación son aumentar la estabilidad del producto como resultado de la disminución de la actividad de agua (a_w), reducir el peso y volumen para obtener una disminución de costes de transporte y almacenamiento, transformar el alimento fresco en materias primas adecuadas para la creación de nuevos productos (sopas y cremas deshidratadas), y atribuir al alimento características únicas como la crocancia y textura (**Berk, 2013a; Fito et al., 2020**).

1.1.2.1. Orígenes

La conservación de los alimentos mediante el secado se dio lugar en la época del Neolítico (6000 hasta 3000 a.C.), cuando el hombre nómada se convirtió en sedentario, para dedicarse principalmente a la ganadería y a la agricultura (**G. López et al., 2019**).

Hulse (2006), indica que la técnica de secado al sol fue descubierta de manera empírica por las poblaciones mediterráneas, asiáticas y comunidades indígenas de América, para conservar alimentos como carne, pescado, frutas y vegetales. Así también, se menciona que los indígenas de América fueron los primeros en secar papas, mediante la exposición al frío en las montañas de los Andes. Ya en la edad de piedra, los británicos secaban granos mediante la exposición al fuego.

Debido a que el secado al sol presentaba ciertas limitaciones y dificultades, el hombre primitivo se vio en la necesidad de encontrar una técnica más eficaz y segura de secado. Es así como en la edad de Hierro, aparecen los primeros hornos en Europa para secar trigo. En China y Roma, hace aproximadamente 4000 años, se empezó a practicar la deshidratación osmótica con sal y miel para conservar frutas y carne. En 1851, en una exhibición en Londres, se presentaron muestras de leche en polvo, las mismas que fueron obtenidas mediante la eliminación de agua al someter a un calentamiento leve. En los años 1878-1882, se registraron las patentes de los secadores por radiación y a vacío. Mientras que en 1901 aparece el secador de aire y vapor, el cual fue considerado como un avance importante (Galaviz, 2012; Hulse, 2006).

Hoy en día existen una amplia gama de equipos de deshidratación. Su elección depende de la naturaleza del alimento y de las características del producto que se requiera obtener.

1.1.2.2. Fundamentos del secado

a. Fenómenos de transferencia de calor

De acuerdo con A. Valencia (2020), la reducción del contenido acuoso de un sólido húmedo, se da mediante la transferencia de calor entre dos cuerpos con diferentes niveles de temperatura, donde el calor se transfiere desde el cuerpo con mayor temperatura al de menor temperatura. El calor puede transmitirse principalmente por conducción, convección y radiación (Figura 1).

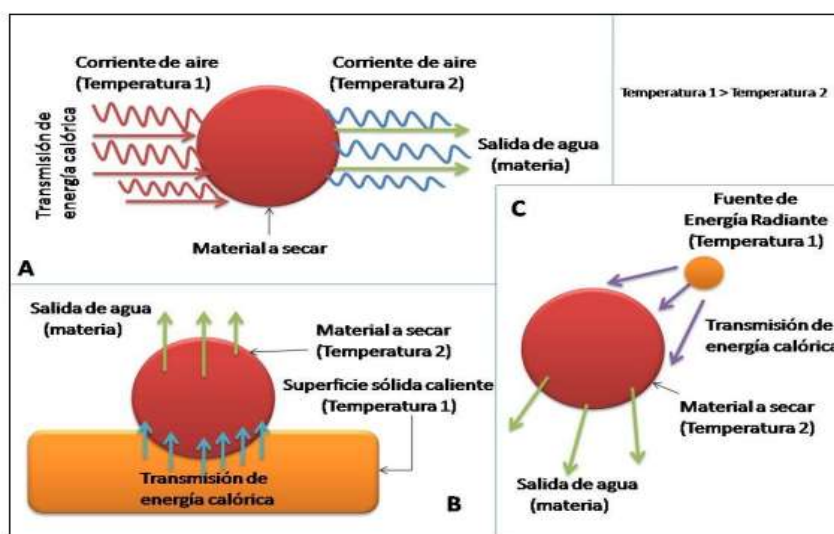


Figura 1. Mecanismos de transferencia de calor: A. Convección; B. Conducción; C. Radiación

Fuente: (Saavedra, 2011, citado por Carbajal & Torres, 2018)

a.1. Convección

Carbajal y Torres (2018), mencionan que en este caso el calor necesario para volatizar el agua del alimento es suministrado mediante una corriente de aire caliente que se encuentra en contacto directo con la muestra húmeda (Figura 1-A). Tanto para suministrar el calor necesario para la evaporación como para eliminar el vapor de agua de la superficie de la muestra, se usa gas caliente y seco, que por lo general suele ser el aire (**Berk, 2013a**).

a.2. Conducción

De acuerdo con **Fito et al. (2020)**, la transmisión de calor por conducción se da por medio de superficies calientes, que se encuentran en contacto directo con el alimento (Figura 1-B). Además, la eficiencia térmica es más alta que en los secadores por convección, debido a que la pérdida de entalpía es mínima. Su uso se da con mayor frecuencia en el secado de polvos finos o de purés pastosos y viscosos.

a.2. Radiación

De acuerdo con **Carbajal y Torres (2018)**, la evaporación de la humedad del sólido se lleva a cabo mediante energía radiante (Figura 1-C), mediante ondas electromagnéticas; dicha energía es absorbida de forma selectiva por las moléculas de agua, de manera que se requiere menos energía a medida que el alimento se deshidrata. Cabe señalar que las radiaciones electromagnéticas se obtienen a través de: espectro solar, microondas e infrarrojo.

b. Fenómenos de movimiento de agua

Los fenómenos de movimiento de agua en el alimento se deben a diferentes mecanismos como: fuerzas capilares, difusión del líquido, difusión del vapor y difusión superficial. Así también, dicho movimiento depende de la porosidad y de la interacción entre el agua y la matriz del alimento (**Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2008**). En el secado de sólidos, el principal mecanismo es la difusión de agua, donde se presentan dos posibles situaciones: el movimiento del líquido en el interior del alimento y el movimiento del vapor hacia la superficie (**Geankoplis, 1998**).

1.1.3. Técnicas usadas en la deshidratación de alimentos.

Hoy en día las técnicas más utilizadas en la deshidratación de alimentos son la evaporación superficial, deshidratación osmótica y liofilización (**Fito et al., 2020**). A continuación se describen las técnicas más empleadas.

1.1.3.1 Evaporación superficial

La evaporación superficial se puede llevar a cabo mediante diferentes secados:

a. Secado por aire caliente

El secado por aire caliente es una técnica ampliamente utilizada debido a su bajo costo de inversión y operación (**Sagastibelza, 2018**), mismo que consiste en hacer pasar un flujo de aire caliente a través del sólido húmedo para evaporar el agua de su estructura (**Estrada et al., 2018**).

Sagastibelza (2018), indica que a nivel industrial, el secado por aire caliente representa alrededor del 85% de todas las técnicas de secado; sin embargo, es una operación lenta, que necesita altas temperaturas de procesado (hasta 180°C), lo cual puede afectar gravemente a las propiedades fisicoquímicas del alimento, a la composición nutricional, capacidad de rehidratación, reacciones enzimáticas y no enzimáticas, entre otras. Además, puede formarse una costra y encogimiento en la superficie del producto, que dificultan la transferencia de masa y energía, debido a la baja conductividad térmica de la costra (**Pucuhuayla & Valdivieso, 2018**).

Mendoza et al. (2020) mencionan que la cinética de secado de frutas mediante la aplicación de esta técnica, depende de la forma y tamaño de la muestra, así como también de las propiedades del aire de secado, como: temperatura, velocidad del flujo de aire y la humedad relativa del ambiente.

b. Secado a vacío

El secado al vacío es una técnica que permite la reducción de humedad en ausencia de aire, a una temperatura menor al punto de ebullición. La transferencia de energía se da mediante conducción o radiación y la transferencia de masa se da por los mecanismos de diferencia de presión, evaporación y difusión (**A. Valencia, 2020**).

Al secar alimentos a presiones reducidas y a temperaturas bajas, se pueden controlar las reacciones (enzimáticas y no enzimáticas) responsables del cambio de color, y reducir la probabilidad de oxidación (**Gamarra & Rodriguez, 2020**). Según **A. Valencia (2020)**, este secado se aplica en cualquier tipo de alimento; sin embargo, debido a las condiciones de baja presión, el costo operativo es elevado. Es por ello que se emplea generalmente en alimentos sensibles al calor (**Afolabi, 2014**).

c. Secado solar

El secado de los alimentos se lo puede realizar mediante el secado solar natural (aire libre) o por medio de un deshidratador solar (**Yumbillo, 2020**). El secado al aire libre consiste en la exposición directa de los alimentos a los rayos solares, se caracteriza por ser una de las técnicas artesanales más antigua y sencilla que existe. En la actualidad se utiliza esta técnica en países en desarrollo que no tienen acceso a cadenas de frío para la conservación de sus alimentos. La principal desventaja de esta técnica es que depende de las condiciones ambientales, pudiendo ser utilizado únicamente en temporadas de verano y en zonas cálidas-secas, y se expone a la acción de depredadores y a las impurezas de la atmósfera (**P. Rodríguez, 2018**).

Por otro lado, el secado mediante deshidratadores solares se da debido al efecto invernadero, que permite que los rayos del sol se transformen en calor (Figura 2). En este grupo se encuentran los secadores por convección natural y forzada, secadores tipo túnel y secadores con colector (**Yumbillo, 2020**). El beneficio de estos deshidratadores es que que ayudan a frenar la contaminación ambiental y disminuyen los costos operativos (**Argueta Reyes et al., 2019**).

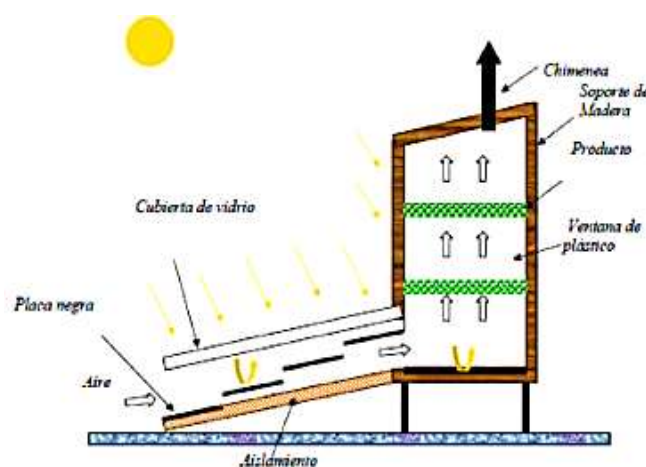


Figura 2. Elementos de un deshidratador solar indirecto
Fuente: Espinoza (2016)

1.1.3.2. Secado por microondas

El calentamiento por microondas se caracteriza por ser rápido, debido a que el calor se transfiere de manera directa hacia el alimento, de tal forma que evita pérdidas de energía. El calor que se genera en el interior del alimento es en forma volumétrica, producto de la interacción entre los campos eléctricos con las moléculas iónicas y polares del contenido acuoso del alimento (Alvarado, 2017).

Según Ibarz y Barbosa-Cánovas (2008), los beneficios del secado por microondas, en comparación con el secado por conducción o convección, son: tiempos de secado más cortos, la energía es absorbida únicamente por el alimento que va ser calentado y el calentamiento es más uniforme, lo que ayuda a mejorar la calidad del producto seco; sin embargo, el costo de capital es alto (Afolabi, 2014).

Por otro lado, debido a que el secado por microondas posee tasas de secado rápido, sin el uso de altas temperaturas (Sagastibelza, 2018), se puede emplear para secar alimentos altamente termolábiles; además, se puede utilizar también como pretratamiento o en combinación con otras técnicas de deshidratación, por ejemplo con el secado al vacío o con el secado por congelación (Afolabi, 2014).

1.1.3.3. Ósmosis

La deshidratación osmótica (DO), es un proceso que hace que el alimento pierda agua y gane sólidos solubles. Dicho proceso consiste en sumergir alimentos sólidos (enteros o en pedazos) en una solución concentrada (50-80%) de sal o de un edulcorante (sacarosa, fructosa, glucosa o jarabe de miel), por un tiempo y temperatura específica. El proceso involucra dos flujos de masa en contracorriente: agua del alimento a la solución y sólidos de la solución al alimento. El flujo de agua desde el interior de la fruta hacia el exterior se debe a la diferencia del potencial químico de la solución que lo rodea y del agua en el alimento (Tsotsas et al., 2011). Regularmente la relación solución hipertónica/alimento se encuentra entre 2:1 a 4:1 (Huamán & Ninahuanca, 2017).

Por lo general la DO se realiza de forma convencional (a presión atmosférica), pero también se lleva a cabo mediante la aplicación de pulsos de vacío o impregnación a vacío, lo que aumenta la velocidad de deshidratación. La impregnación a vacío consiste en extraer el aire acumulado en los poros del alimento, para facilitar la incorporación de la solución osmótica en su interior (Aponte et al., 2017).

La DO permite obtener alimentos de humedad intermedia, lo que puede desencadenar problemas de estabilidad enzimática y microbiológica durante el almacenamiento. No obstante, la DO se utiliza generalmente como pretratamientos de los secados a bajas temperaturas o por aire caliente, para reducir el tiempo de proceso y mejorar la calidad del producto (Julca & Vásquez, 2018).

1.1.3.4. Liofilización

La liofilización consiste en someter a vacío un producto previamente congelado, para que se sublime el hielo, logrando reducir la humedad hasta un 5% o menos. Es considerado el mejor método de deshidratación, debido a que reduce en gran medida las pérdidas de componentes nutricionales y sensoriales del producto, que suelen ser gravemente afectados por los procesos convencionales de secado (Auquiñivin & Paucar, 2020).

Pucuhuayla y Valdivieso (2018), señalan que en este proceso es importante alcanzar el punto eutéctico, mismo que representa a la temperatura más baja (por debajo de 0°C), en la que se puede obtener la máxima cristalización del solvente y el soluto. Al alcanzar el punto eutéctico se logra una estructura sólida, libre de espacios donde se acumule líquido concentrado, para que así se dé la eliminación del agua únicamente por sublimación. Adicionalmente, se añade que en un congelamiento incompleto existen pequeñas cantidades de agua que obstruyen la sublimación, provocando la formación de placas y espuma, desnaturalización de proteínas y destrucción de paredes celulares del alimento, ésta última causa la pérdida de componentes volátiles y una mala rehidratación.

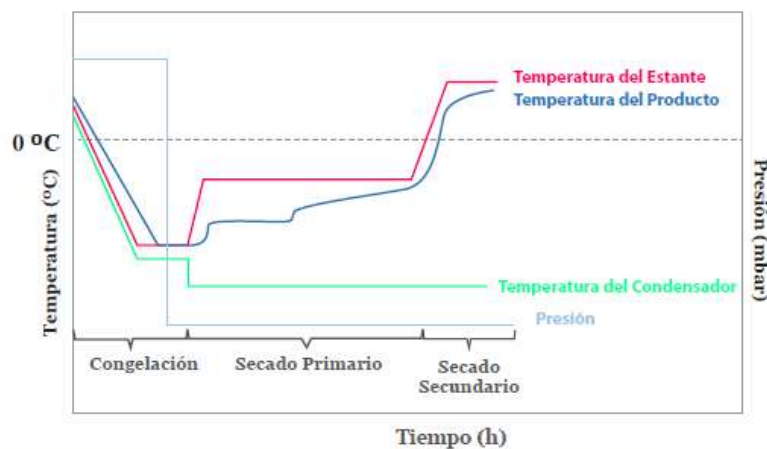


Figura 3. Ciclos del proceso de liofilización

Fuente: Quiceno et al. (2019)

1.1.4. Secadores empleados en la industria alimentaria

Los secadores empleados en la industria alimentaria son los siguientes:

1.1.4.1. Secadores directos

Los secadores directos, conocidos también como secadores por convección, pueden ser continuos o intermitentes, y son los más utilizados para deshidratar frutas y verduras (**Del Valle & Mina, 2021; Fito et al., 2020**). Dentro la clasificación de los secadores directos se tiene:

a. Secadores de horno o estufa

Contienen una bandeja de secado sobre una fuente de calor. La transferencia de calor se da mediante convección natural o forzada. Se utilizan únicamente para secar láminas o capas delgadas de alimentos como frutas, verduras, granos de cacao, entre otros (**Berk, 2013a**).

b. Secadores de bandeja o de armario

Los secadores de bandejas se utilizan generalmente para el secado de alimentos a pequeña escala, debido a que están diseñados para una capacidad máxima (50 kg/h). El flujo de aire en este equipo puede circular de dos maneras, de forma paralela o perpendicular al lecho a secar. Están diseñados para secar cualquier sólido húmedo, aunque debido a la capacidad baja de producción y a la mano de obra que requiere para cargar y descargar el material, su costo operativo es alto (**Quilca, 2016**).

c. Secadores de túnel

Según **Quilca (2016)**, los secadores de túnel son de uso frecuente para la deshidratación de alimentos. Existen diferentes modelos, los mismos que pueden operar de forma continua o semicontinua. Además, pueden configurarse en paralelo y en contracorriente, siendo la primera más beneficiosa en términos de conservar la textura del producto. En cambio el modelo en contracorriente provoca un endurecimiento de la superficie del producto.

Estos equipos pueden alcanzar hasta una longitud de 24 m y por ende su capacidad de producción es alta (Figura 4).

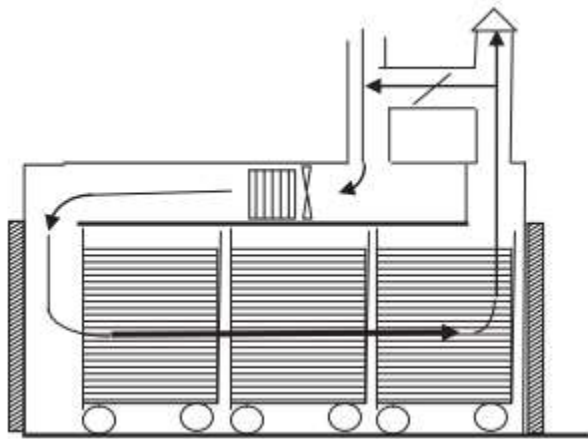


Figura 4. Secador de túnel

Fuente: Berk (2013a)

d. Secadores de cinta transportadora

Los secadores de cinta transportadora están diseñados especialmente para secar trozos pequeños de verduras, en estos equipos la velocidad de secado es menor o igual a 60 minutos (**Berk, 2013a**). Según **Quilca (2016)**, los secadores de cinta transportadora son más utilizados que los secadores de túnel debido a las ventajas que presentan: el equipo ocupa menos espacio en las instalaciones, el producto seco es más uniforme y el rendimiento térmico es mayor.

e. Secadores rotatorios

Los secadores rotatorios son utilizados mayormente en las industrias mineras y químicas. En las industrias alimentarias se usan generalmente para deshidratar alfalfa, cáscaras de frutas y trozos de verduras. Los equipos operan mediante el uso de aire caliente o gases de combustión, y además de ser deshidratadores también pueden funcionar como tostadores de granos y semillas (**Berk, 2013a**).

f. Secadores de lecho fluidizado

Los secadores de lecho fluidizado están diseñados para sólidos granulares, donde el agente de secado y fluidización es el aire caliente. El beneficio de la fluidización es que el producto se seca por todos los lados, creando una distribución de humedad altamente uniforme, reduciendo el grosor de la capa de vapor alrededor del producto y reduciendo el tiempo de secado (**Clark et al., 2014**).

Según **Hincapié y Zapata (2019)**, los secadores de lecho fluidizado son más utilizados, frente a los secadores de bandejas o de vacío rotativo, debido a que presentan algunas ventajas como: menor tiempo de proceso, secado uniforme, alto grado de transferencia de calor y masa, y mayor rendimiento.

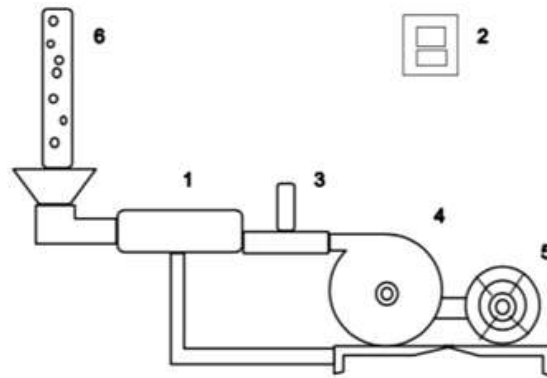


Figura 5. Vista esquemática del secador de lecho fluidizado

1. Resistencias eléctricas; 2. Relé en estado sólido; 3. Termocupla tipo J; 4. Ventilador centrífugo; 5. Motor; 6. Tubo deacrílico.

Fuente: Hincapié y Zapata (2019)

g. Secadores por arrastre neumático

Se caracterizan por ser secadores continuos que utilizan una corriente de aire caliente para la eliminación de humedad del alimento. La velocidad de transmisión del calor es bastante rápida, y por ende el tiempo de secado es corto. Algunas de sus ventajas son: la simplicidad mecánica, ahorro de espacio en planta y posibilidad de clasificación por tamaño de partícula. Su uso se centra en el secado de productos granulares como almidones, harinas, y materiales pastosos. No es apto para materiales que puedan adherirse a las paredes del horno (**Fito et al., 2020**).

h. Secadores por atomización

Se utilizan para secar soluciones y suspensiones líquidas, con el fin de producir partículas de polvo fino. Se aplica para la producción de queso en polvo, suero en polvo, leche en polvo y huevo en polvo, además para cremas de café, café instantáneo, té, extracto de levadura deshidratada, entre otros productos en polvo. El secado por atomización también se utiliza para la microencapsulación (**Berk, 2013a**).

1.1.4.2. Secadores indirectos o por conducción

Los secadores indirectos, conocidos también como secadores por conducción, son adecuados para deshidratar alimentos con compuestos termolábiles, debido a que la desecación se lleva a cabo en atmósferas inertes y presiones reducidas. La transmisión de calor por conducción hacia el alimento se da por medio de una pared, que normalmente es de metal (**Del Valle & Mina, 2021; Fito et al., 2020**). Dentro de la clasificación de los secadores indirectos se tienen:

a. Secadores de bandejas a vacío

De acuerdo con **Fito et al. (2020)**, los equipos de este tipo operan a bajas temperaturas, debido al elevado grado de vacío. Sus elementos principales son una cámara hermética, placas calefactoras, bandejas de metal y una bomba a vacío. El alimento por secar se coloca sobre las bandejas metálicas que se ubican en la superficie del calefactor. La desventaja es que los costos de operación son elevados, por lo que se utiliza para deshidratar alimentos específicos, como los de fácil oxidación y sensibles a la temperatura.

b. Secadores por sublimación (liofilizadores)

Los liofilizadores consisten en una cámara a vacío, provisto de bandejas de aluminio, en las que se esparce el material a liofilizar. El calor generalmente se suministra haciendo circular un medio de calentamiento a través de los estantes huecos que sostienen las bandejas. Existen liofilizadores continuos y discontinuos con capacidades que van de 100 a 1500 kg por lote. El secado por sublimación es relativamente rápido en comparación con el secado por evaporación a bajas temperaturas (**Berk, 2013b**).

Esta tecnología permite obtener alimentos deshidratados de excelente calidad; sin embargo, los tiempos de proceso son largos y además la tecnología es altamente costosa, por lo que existen estudios donde se usa la liofilización en combinación con otras técnicas de secado. En el proceso de liofilización se han aplicado pretratamientos de deshidratación por microondas, por aire caliente, entre otros, obteniendo resultados favorables en cuanto a la calidad del producto y cinética de secado (**Auquiñivin & Paucar, 2020**).

c. Secadores de tornillo sin fin

Se caracterizan por ser secadores continuos y se utiliza para sólidos altamente finos o pegajosos. El proceso es sencillo debido que la muestra fresca ingresa por un extremo del tornillo sin fin, circula de manera lenta por la zona caliente y sale por el otro extremo del tornillo en estado seco (Fito et al., 2020).

d. Secadores de rodillo

En estos equipos la transferencia de calor se da a través de una pared de retención. Son sencillos de usar, con velocidades de secado altas y eficientes. Se aplica para el secado de varios alimentos como frutas, vegetales, tubérculos y leche descremada (Figura 6). La desventaja es que el alimento debe ingresar al deshidratador en estado líquido o semilíquido, debido a que debe resistir a altas temperaturas por tiempos cortos (Camargo & Carrillo, 2018).

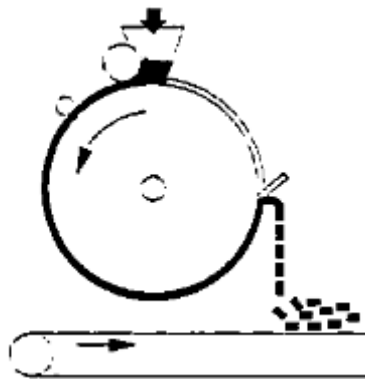


Figura 6. Principio de funcionamiento de un secador de rodillos

Fuente: Vanaclocha & Abril, 2003; citado por Camargo & Carrillo, 2018.

1.1.4.3. Secadores por radiación

Funcionan mediante transferencia de energía radiante, la cual puede ser generada por energía infrarroja, solar y por microondas. Se caracteriza por ser uno de los secadores más seleccionados, debido a que la energía radiante se absorbe directamente por el alimento y la temperatura se distribuye uniformemente, de tal forma que la velocidad del secado sea rápida y que la textura del alimento sufra el menor daño posible. La desventaja es que el costo de la energía necesaria para los equipos, es hasta cuatro veces mayor que el costo del combustible de los secadores directos e indirectos, a excepción del secado solar (Espinoza, 2016; Fito et al., 2020).

1.1.4.4. Secadores dieléctricos

Generan calor dentro del propio sólido, evitando la transferencia de calor a través de la superficie del alimento. La fuente de energía es una corriente eléctrica de alta frecuencia generada entre dos electrodos, dicha energía produce una fuerte agitación de las moléculas polares, generando el calor necesario para la evaporación mediante fricción de estas moléculas. Es apropiado para deshidratar piezas de alimentos de tamaño grande, debido a la uniformidad del calentamiento en toda la estructura. No obstante, su costo puede alcanzar hasta diez veces el valor del combustible requerido por los secadores directos, por ende su aplicación no es amplia (**Del Valle & Mina, 2021; Fito et al., 2020**).

1.1.5. Conservación de frutas por deshidratación

1.1.5.1. Efecto de la deshidratación en alimentos

Durante el proceso de secado no solo se reduce el contenido de humedad del alimento, sino también se provoca la pérdida de la funcionalidad en las membranas del alimento, causando cambios en las propiedades nutricionales y sensoriales (**Feicán-Mejía et al., 2016**). Entre los efectos de la deshidratación en alimentos se tienen:

a. Textura

Mediante el proceso de deshidratación las frutas adquieren cambios superficiales, como encogimiento y endurecimiento. Dichos cambios se deben a que durante el proceso de secado, las células de las frutas pierden agua provocando roturas y distorsiones de tamaño (**Carbajal & Torres, 2018; Escobar, 2020**).

b. Color, aroma y sabor

Las alteraciones de color, aroma y sabor en alimentos deshidratados, se relacionan con la temperatura de secado, presión de vapor de las sustancias volátiles y la concentración de sólidos en los alimentos; así también, el cambio de color se debe a la oxidación de lípidos, carotenos y vitaminas. Mientras que las alteraciones de sabor y aroma se relacionan con la pérdida de compuestos volátiles como alcoholes, aldehídos, cetona y ésteres. Cabe mencionar que todos estos cambios son irreversibles, por ende son los más indeseables en este tipo de productos (**Carbajal & Torres, 2018; Escobar, 2020**).

Según **Clark et al. (2014)**, la deshidratación de alimentos a temperaturas altas, puede provocar reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático, los que también son responsables de la alteración del color, aroma y sabor. El pardeamiento no enzimático puede deberse a tres mecanismos posibles:

- **Caramelización.** Es un proceso químico en el que se degradan los azúcares al ser calentados sobre su punto de fusión, formando un color marrón (**Curubeto, 2016**).
- **Oxidación del ácido ascórbico.** Se genera por la presencia de oxígeno y más aún cuando se somete a calor, cuya degradación forma furfural de color pardo (**Garcet et al., 2020**).
- **Reacción de Maillard.** Consiste en un conjunto de reacciones generadas entre un compuesto carbonilo (que generalmente es un azúcar reductor), y una amina (que puede ser un péptido, una proteína o un aminoácido). Durante dicha reacción se forman las melanoidinas que van desde un color amarillo claro hasta un color café oscuro, o negro en algunas ocasiones (**Nursten, 2005**).

c. Valor nutricional

La aplicación de la temperatura provoca la desnaturalización de proteínas y la destrucción de vitaminas termolábiles e hidrosolubles, como el ácido fólico, tiamina, vitamina C, entre otros; siendo esta última la más sensible a la temperatura y por ende es la que se degrada en mayor cantidad durante el proceso de secado.

Cabe mencionar que la retención de los componentes nutricionales del producto depende del pretratamiento de la fruta, de la elección de la técnica de secado y de las condiciones de almacenamiento del producto final (**Carbajal & Torres, 2018; Escobar, 2020**).

De acuerdo a **A. Valencia (2020)**, para reducir las pérdidas de nutrientes provocadas por la deshidratación, se deben aplicar bajas temperaturas, reducir el tiempo de secado y almacenar en lugares con humedad y oxígeno controlados. Además, menciona que las vitaminas más estables al calor y a la oxidación son las liposolubles.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Analizar los efectos de los métodos de deshidratación de frutas sobre sus propiedades nutricionales y sensoriales.

1.2.1. Objetivos específicos

- Realizar una extensa búsqueda bibliográfica sobre los fundamentos de los métodos de deshidratación más utilizados en frutas.
- Contrastar la información recopilada acerca de los fundamentos de los métodos de deshidratación de frutas y su efecto en las propiedades nutricionales y sensoriales, mediante tablas e imágenes.
- Determinar los efectos de los métodos de deshidratación de frutas, en sus propiedades nutricionales y sensoriales, mediante una discusión extensa del tema.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizaron los siguientes materiales:

- Internet
- Tinta de impresora
- Flash memory
- Libreta de apuntes
- Bolígrafo
- Computador
- Impresora
- Escáner
- Plataformas virtuales
- Aplicaciones informáticas

2.2. Métodos

2.2.1. Definición del problema

La deshidratación es una de las operaciones más antiguas y se mantiene vigente hasta la actualidad, debido a que es una tecnología relativamente económica; en el mercado ecuatoriano esta tecnología es aplicada en la producción de frutas deshidratadas, mismas que se consumen como postres dietéticos. Sin embargo, a nivel industrial se desconocen claramente los fundamentos de los métodos de deshidratación, y por ende durante la producción se originan efectos en las propiedades nutricionales y sensoriales.

Además, sistematizar toda la información científica publicada a cerca de este tema, es comúnmente difícil y al mismo tiempo es complicada de entender para el público lector del sector industrial e incluso para el consumidor común. Considerando que esta información es importante para las empresas alimentarias, ya que permitirá seleccionar el método más adecuado de deshidratación dependiendo la naturaleza de la fruta y el tipo de alimento que se desee desarrollar, este proyecto cobra mayor importancia.

2.2.2. Búsqueda de la información

Para la recopilación de la información se utilizaron fuentes bibliográficas tales como: libros, tesis, publicaciones oficiales y artículos científicos, obtenidos de bases de datos a las que se tienen acceso a través del sistema integrado de la Universidad Técnica de Ambato, como: Scopus, Web of Science, Wiley, entre otros, y bases de acceso libre como ResearchGate, Latindex, SciELO y Google Scholar.

2.2.3. Organización de la información

La información recopilada se organizó de manera sistemática, con el fin de que se distingan los documentos principales de los secundarios. Para la organización de la información se utilizó el programa Mendeley, el que permite agrupar y priorizar la información acorde a las necesidades investigativas. Dentro de los métodos de deshidratación que se consideraron se encuentran la deshidratación por aire caliente, a vacío, solar, microondas, osmótica y liofilización. En cuanto a los efectos de los métodos de deshidratación, se tomó en cuenta los cambios de color, olor, sabor y textura, mientras que en los efectos nutricionales se analizó principalmente la pérdida de vitaminas.

2.2.4. Análisis de información

Se realizó un análisis cualitativo de toda la información recolectada, para plantear las ideas que fundamenten los efectos producidos por los métodos de deshidratación de frutas. Dicha información se clasificó de acuerdo con el método de deshidratación y el tipo de fruta, lo que permitió correlacionar la información y presentar una discusión ampliada. Finalmente, esta información se representó mediante tablas en función de los resultados obtenidos. La veracidad de la información planteada en la investigación se denotó por las referencias bibliográficas citadas.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

3.1.1. Importancia de la deshidratación de frutas

Hoy en día, la producción de frutas contribuye en gran parte al desarrollo económico del país y su consumo está en aumento, debido a que el consumidor opta por una alimentación sana y nutritiva (Cabascango, 2018). Sin embargo, aún existen pérdidas de postcosecha, debido a su alta producción y mal aprovechamiento; por ejemplo, a nivel de América Latina se desperdicia alrededor del 28% de la producción total (Catucuamba, 2020). Además, al tratarse de alimentos altamente perecederos y que escasean en ciertas épocas del año, requieren un proceso para alargar su tiempo de vida útil (Martin-Esparza & Gonzalez-Martinez, 2008b). Cabascango (2018), menciona que el secado o deshidratado es uno de los métodos más utilizados por las industrias de alimentos para conservar frutas mediante la reducción de humedad entre un 85-92%.

3.1.2. Deshidratación de frutas

3.1.2.1. Tratamientos previos a la deshidratación

De acuerdo a Deng et al. (2019), los pretratamientos (químicos y físicos) se usa antes del proceso de deshidratación con el fin de inactivar las enzimas, acortar el tiempo de secado, reducir el consumo de energía y mejorar la calidad de los productos secos (Figura 7).

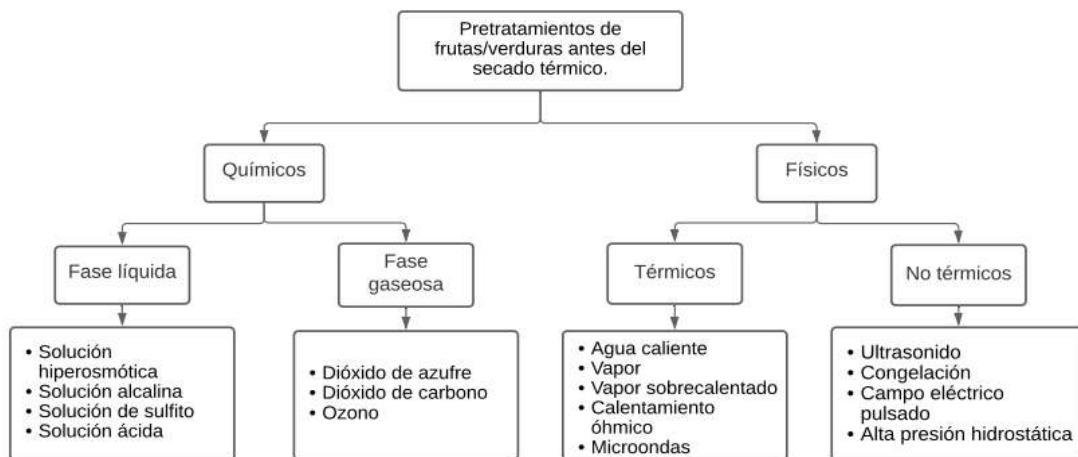


Figura 7. Métodos de pretratamiento de frutas/verduras antes del secado térmico

Fuente: Deng et al. (2019)

a. Tratamientos químicos

Entre los tratamientos químicos que se realizan previos a la deshidratación de frutas existen los realizados en fase líquida y fase gaseosa.

a.1. Fase líquida

Las técnicas de inmersión con aditivos químicos pueden favorecer la cinética de secado y contribuir a la calidad del producto, pero al mismo tiempo la acumulación de residuos puede causar problemas de seguridad (**Deng et al., 2019**). Entre los pretratamientos químicos en fase líquida se tienen:

a.1.1. Solución hiperosmótica

La deshidratación osmótica ayuda a extraer gran parte de agua de las frutas (10 al 70%), sin la necesidad de recurrir a temperaturas elevadas, presentando una alternativa para reducir el tiempo de secado y mejorar la calidad del producto (**Deng et al., 2019**). **Alvis-Bermudez et al. (2016)**, demostraron que al sumergir trozos de mango (*Mangifera indica*), en una solución hipertónica del 65°Brix, el tiempo de secado en microondas se redujo en el 68%, además se conservó el color, adquirió una textura firme y una mejor aceptación sensorial.

a.1.2. Solución alcalina

La función de las emulsiones alcalinas (hidróxido de sodio, ésteres etílicos o metílicos, entre otros) es disolver la cera de las frutas para incrementar la permeabilidad y disminuir el tiempo de secado; además de contribuir a la preservación del color mediante la inactivación de la polifenol oxidasa (PPO), responsable del pardeamiento enzimático.

La solución alcalina se utiliza principalmente como pretratamiento de las bayas (*Lycium barbarum*), que poseen capa superficial cerosa de baja permeabilidad, la que dificulta la circulación del agua desde el interior de la fruta (**Deng et al., 2019**). Al pretratar frutos de uchuva (*Physalis peruviana*), en una solución con 2% oleato de etilo + 4% carbamato de potasio, a 25 °C durante 1 min, el tiempo de secado convectivo (60°C) se redujo entre un 3-15% (**Ozdemir et al., 2016**).

a.1.3. Solución de sulfito

La sulfuración o sulfitación se realiza normalmente con gas de dióxido de azufre o sales de sulfuro solubles en agua (metabisulfito de sodio, metabisulfito de potasio, entre otros). Aunque el pretratamiento con sulfito presenta algunos beneficios como mantener el color y reducir el oscurecimiento enzimático mediante la inactivación de la enzima PPO, presenta algunas desventajas debido a que se pierden algunos compuestos nutricionales hidrosolubles y crea un sabor indeseable.

Sin embargo, el nivel de afecciones sobre la calidad del producto depende de ciertos factores como: las formas de sulfuración (gas o solución), concentración y pH de la solución (**Deng et al., 2019**). Así lo demostraron **A. García y Ruales (2018)**, al evaluar el efecto de la sulfuración en el secado de mortiño (*Vaccinium meridionale*), encontrando que los pretratamientos no influyeron significativamente ($p < 0.05$) en las características organolépticas del producto seco.

a.1.4. Solución ácida

Según **Deng et al. (2019)**, las soluciones de ácido cítrico o ascórbico se utiliza generalmente para mejorar la calidad, mediante la reducción del pH a un valor de 3, y con ello inhibir la enzima PPO y al mismo tiempo disminuir la tasa de pardeamiento enzimático, además de favorecer a la textura y mantener estables a las belataínas y antocianinas. Según **Rubiano et al. (2016)**, los pretratamientos con ácido cítrico y ascórbico, tienen efectos antipardeo en el secado convectivo de manzana (*Malus*).

a.2. Fase gaseosa

Entre los pretratamientos químicos en fase gaseosa se tienen:

a.2.1. Dióxido de carbono (CO₂)

Su forma de aplicación es conocida como técnica de maceración carbónica (CM), la cual consiste en colocar la fruta en un lugar cerrado y hermético, posteriormente llenar el depósito con CO₂ para que dé lugar a la fermentación anaeróbica (**Samaniego, 2019**).

Deng et al. (2019), mencionan que al someter las frutas a MC, se crea un ambiente ácido que permite inactivar las enzimas responsables de la alteración del color; además se modifica la membrana celular que facilita la salida de agua del alimento y con ello se acelera la velocidad de secado.

La técnica CM se ha utilizado como pretratamiento del fruto de azufaifo chino (*Ziziphus jujuba Mill.*). Los resultados indicaron que los frutos pretratados con CO₂ al 5% tuvieron una disminución en cuanto al contenido de ácidos y un aumento en el contenido de aldehídos y ésteres. Las muestras tratadas y posteriormente secadas tuvieron mayor aceptación en cuanto a sabor y aroma (**Chen et al., 2017**).

a.2.2. Ozono

Según **Barrionuevo (2018)**, el ozono se destaca por su alta capacidad oxidativa, se usa como antimicrobiano o fungicida, inactiva bacterias vegetativas y esporuladas; además disminuye los residuos de plaguicidas. Sin embargo, **Deng et al. (2019)**, señalan que la aplicación de ozono puede repercutir en las características organolépticas del producto, causando pérdidas o alteraciones en el color y aroma.

b. Tratamientos físicos

b.1. Térmicos

Se aplican con la finalidad de minimizar el deterioro durante el secado y conservar la calidad del producto final. Entre los tratamientos físicos previos a la deshidratación de frutas y verduras se tienen:

b.1.1. Escaldado

Según **Deng et al. (2019)**, el escaldado térmico favorece a la inactivación de reacciones enzimáticas indeseables, al ablandamiento de textura y facilita el proceso de secado. Existen varias formas de realizar el escaldado, el más común y sencillo es el que se realiza por inmersión en agua caliente, aunque desventajosamente este tipo de pretratamiento provoca disminución del contenido de nutrientes solubles y alteraciones en la textura, aroma y color.

El escaldado con vapor sobrecalentado, microondas y calor óhmico, pueden reducir pérdidas nutricionales y ser más eficientes que el escaldado por inmersión. **Cortijo-Mendoza et al. (2017)**, aplicaron el escaldado por inmersión y por vapor como tratamientos previos a la liofilización de uchuva (*Physalis peruviana L.*). Ambos pretratamientos destruyeron el contenido de vitamina C; sin embargo, el escaldado con vapor presentó menor degradación de la vitamina C (Figura 8). Sin embargo, una evaluación de aceptabilidad de orito deshidratado, escaldado por inmersión, se obtuvo baja aceptabilidad en cuanto al color, olor y textura (**Peñañiel, 2017**).

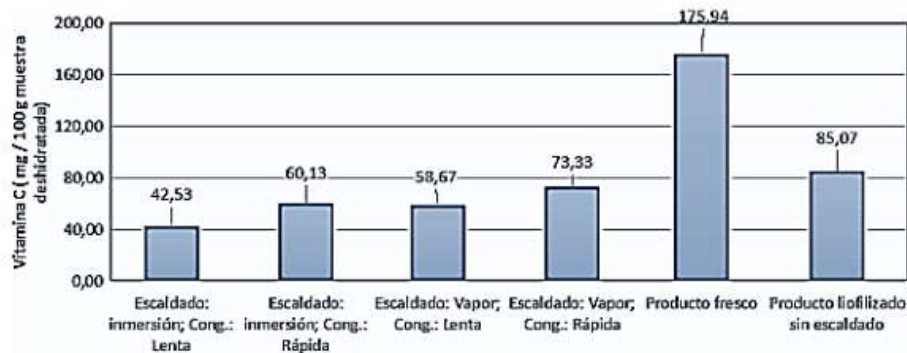


Figura 8. Determinación de vitamina C en uchuva deshidratada

Fuente: Cortijo-Mendoza et al. (2017)

b.2. No térmicos

Los pretratamientos no térmicos previos a la deshidratación han llamado la atención a las industrias alimentarias, debido a su superioridad en temas de degradación de la calidad. Entre los pretratamientos no térmicos se tienen:

b.2.1. Ultrasonido (US)

Las ondas ultrasónicas provocan compresiones y expansiones de la matriz sólida de forma rápida y continua, creando microcanales que facilitan la extracción de humedad, lo que a su vez reduce el tiempo y temperatura de secado; además conserva la calidad tanto nutricional como sensorial del producto (**E. Mosquera-Vivas et al., 2019**). **Campo-Vera et al. (2020)**, reportaron que al aplicar el US como tratamiento previo a la deshidratación de uchuva (*Physalis peruviana*) se consiguió una reducción promedio del 38% del tiempo de secado (Figura 9).

Por otra parte, pretratar manzana (*Malus*) con US logró un acortamiento máximo del tiempo de secado (80.3%). Además, se observó que el nivel de potencia ultrasónica no afectó significativamente ($p < 0.05$) la dureza del alimento (Santacatalina et al., 2016).

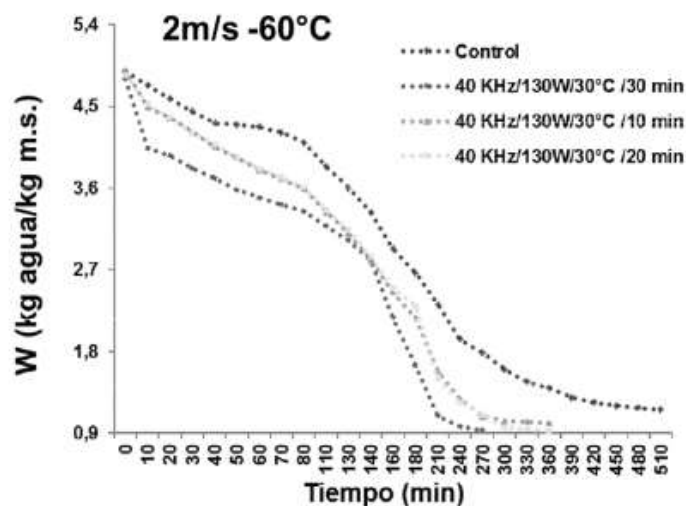


Figura 9. Cinética de secado de la uchuva secado convectivo (aire: 2 m/s y 60°C). Pretratamiento con ultrasonido (130 W/40 kHz).

Fuente: Campo-Vera et al. (2020)

b.2.2. Congelación

El pretratamiento mediante congelación se lleva a cabo generalmente a una temperatura de -20°C. Se usa como pretratamiento en el secado de frutas y verduras para acortar el tiempo de proceso y con ello minimizar la exposición térmica de la muestra (Deng et al., 2019).

Durante la congelación se forman cristales de hielo que provocan cambios en la estructura celular del alimento, mismos que favorecen la transferencia de masa (agua), dando lugar a una eliminación más fácil. Las modificaciones en la estructura celular pueden provocar efectos en el color, textura, actividad antioxidante, entre otros (Torrens, 2019).

En resumen, el pretratamiento de congelación puede dañar o mejorar la calidad del producto, dependiendo de la velocidad de congelación y de la microestructura de la muestra. Vallespir et al. (2019), mostraron que la magnitud de la reducción del tiempo de secado depende de la porosidad del alimento.

b.2.3. Campo eléctrico pulsado y alta presión hidrostática

Tanto el campo eléctrico pulsado (PEF), como la alta presión hidrostática, son útiles para disminuir el tiempo de secado y reducir afecciones en la calidad del producto. Estos dos favorecen a la permeabilidad celular para que se dé una mejor difusión y aumente la velocidad de secado (**Deng et al., 2019; Z. Liu et al., 2016**).

La aplicación de PEF en ciruelas (*Spondias purpurea*), evidenció que la intensidad del campo eléctrico es directamente proporcional a la desintegración de la estructura celular; dicha desintegración conlleva a un aumento en la velocidad y a un acortamiento del tiempo de secado. Además, se notó que el PEF afectó el color del producto seco, aunque en menor intensidad que las muestras no tratadas (**Rahaman et al., 2019**).

Z. Liu et al. (2016), mencionan que la aplicación del PEF puede reducir el tiempo de secado hasta un 20%; sin embargo, la calidad del producto seco es mejor que las pretratadas con soluciones químicas.

3.1.3. Deshidratación de frutas por evaporación superficial

3.1.3.1. Secado por aplicación de aire caliente

Si bien en el secado por aire caliente las temperaturas altas (entre 40 a 80°C), favorecen la transferencia de masa, esta propiedad en conjunto con el tiempo de proceso influyen en la calidad del producto (**J. López, 2021**). En las frutas con capa superficial cerosa, el secado con aire caliente puede demorar hasta 160 horas, debido a que la cera actúa como una barrera para los procesos de transferencia de masa y energía (**Z.-L. Liu et al., 2020**).

De la Vega et al. (2019), deshidrataron uchuva (*Physalis peruviana*) en dos estados de madurez a 60°C por 14 horas. Se encontró que los carotenos son más resistentes a la degradación, en comparación con los polifenoles y la vitamina C, sin importar el estado de madurez. Además, se evidenció que la temperatura influye en la tonalidad y luminosidad, debido a la polimerización de fenoles y el pardeamiento enzimático. La degradación de compuestos fenólicos se debe a las reacciones de oxidación, en cambio la degradación de carotenos se atribuye a las reacciones de isomerización y oxidación que se producen debido al tiempo de exposición térmica. Resultados similares se encontrados en manzana (*Malus domestica*) (**Sharabiani et al., 2021**).

El ácido ascórbico es el compuesto más termolábil, ya que en el secado de mango y guayaba (50°C/12 h), se degradó 42% y 88%, respectivamente (Estrada et al., 2018).

Se han estudiado la DO, US y microondas como tratamientos previos del secado convencional. Por ejemplo, Farooq et al. (2021), evaluaron la ósmosis y la combinación de ósmosis-US (jarabe Sekanjabin a 40-50%) como tratamientos de los frutos del rambután (*Nephelium lappaceum*). En la Figura 10 se logra observar que al combinar ósmosis-ultrasonido existe una mayor tasa de pérdida de agua.

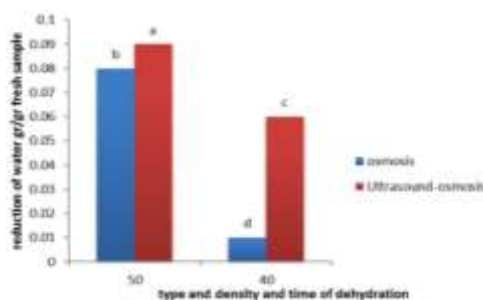


Figura 10. Interacción del tiempo y tipo de deshidratación en la fruta de rambután

Fuente: Farooq et al. (2021)

Campostrini et al. (2018), evaluaron el efecto de la temperatura (50 y 60 °C) en arándanos (*Vaccinium angustifolium*). Se reportó que la técnica de secado influyó en la tonalidad, luminosidad y redujo la concentración de antocianinas, debido a que las ondas ultrasónicas crean microcanales que facilitan su eliminación (Figura 11).

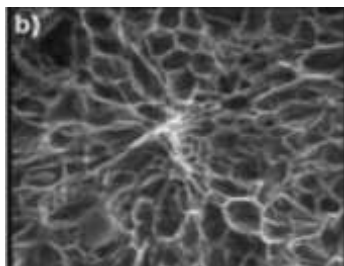


Figura 11. Cortes transversales de arándanos rojos sometidos a US

Fuente: Z.-L. Liu et al. (2020)

Por su parte, M. Valencia (2018), realizó la DO de mango (*Mangifera indica*) con una solución sobresaturada de miel, previo al secado con aire caliente (52°C). Los resultados fueron favorables en cuanto al olor, más no para el color y textura; los autores mencionan que la pérdida del color pudo deberse a que se formó una capa de miel oscura en la superficie, debido a la transformación de fructuosa en hidroximetilfurfural.

De la misma manera Quintero et al. (2019), utilizaron la DO en guayaba (*Psidium guajava*). Se observó un aumento significativo de firmeza y fuerza de compresión ($p < 0,05$), mismo que protege del daño mecánico durante el empaquetado y transporte.

Tabla 1. Resumen de los efectos de la deshidratación con aire caliente en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas

Fruta	Nombre científico	Pretratamiento		Secado con aire caliente				Efectos en la composición nutricional	Efectos en las propiedades sensoriales	Referencia
		Técnica	Parámetros técnicos	Tiempo (min)	Equipo empleado	Tiempo (h)	Secado (°C)			
Mango	<i>Mangifera indica</i>	DO	Concentración de sacarosa y cloruro de sodio al 10, 15 y 20%	180	Deshidratadora eléctrica	-	60	-	El tratamiento con sacarosa al 20% obtuvo mayor aceptación de los atributos del aroma, color y sabor.	(Castelo, 2017)
		-	-	-	Horno convectivo	12	50	Pérdida de 42% de vitamina C.	-	(Estrada et al., 2018)
		-	-	-	Horno convectivo	12	50	Pérdida de 88% de vitamina C.	-	(Estrada et al., 2018)
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	DO	Solución hipertónica 60°Brix	120	Secador de bandejas	4.5	46 y 55	-	- Los valores de firmeza incrementaron significativamente (p<0,05). - Preservó el tono rojo y amarillento del fruto. - Pérdida significativa de luminosidad.	(Quintero et al., 2019)
Piña	<i>Ananas comosus</i>	US	Ondas de frecuencia: 25 kHz	10, 20 y 30	-	8	60	- Incrementó la concentración de vitaminas B ₁ , B ₂ , B ₃ y B ₅ . - Exhibió valores más altos de vitamina C en comparación con las muestras sin tratar.	-	(Ó. Rodríguez et al., 2017)

Tabla 1. Resumen de los efectos de la deshidratación con aire caliente en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas (continuación)

Fruta	Nombre científico	Pretratamiento			Secado con aire caliente			Efectos en la composición nutricional	Efectos en las propiedades sensoriales	Referencia
		Técnica	Parámetros técnicos	Tiempo (min)	Equipo empleado	Tiempo (h)	Secado (°C)			
Manzana	<i>Malus domestica</i>	-	-	-	-	-	50 a 70	-	Pérdida del color característico	(Sharabiani et al., 2021)
Melón	<i>Cucumis melo</i>	Inmersión en solución química	Solución de etanol al 50 y 100 %	10	Secador de lecho fijo	-	60	Degradación del ácido ascórbico.	Pérdida de la luminosidad y brillo con respecto a la fruta fresca.	(Carneiro et al., 2020)
Uvilla	<i>Physalis peruviana</i>	-	-	-	Secador de bandejas	14	60	La vitamina C se degradó en un 15.37%.	Dio lugar a un color oscuro.	(De la Vega et al., 2019)
Arándano	<i>Vaccinium angustifolium</i>	-	-	-	Deshidratador de placas	-	50 y 60	-	Pérdida de luminosidad y del tono azul oscuro del fruto.	(Campostrini et al., 2018)
Uva	<i>Vitis vinifera</i>	Inmersión en solución alcalina	Solución de oleato de etilo al 2% (v / v) y Na ₂ CO ₃ al 2.5% (v / v)	3	-	-	40 a 70	-	-El color resultó ser más oscuro que las muestras frescas. -Formación de grietas en la piel de la uva seca.	(Adiletta et al., 2016)
Mamey	<i>Mammea americana</i>	DO	Solución hipertónica de 45 a 65 °Brix	240	Secador de bandejas	-	40 a 50	-No varió el contenido de proteína, grasa y fibra. - Redujo el nivel de degradación de la vitamina C.	-Favoreció al color, sabor y textura. - Mantuvo el olor característico de la fruta.	(Julca & Vásquez, 2018)

3.1.3.2. Secado al vacío

El secado al vacío es utilizado específicamente para alimentos con compuestos sensibles al calor, como frutas y vegetales (Vélez-Mera et al., 2021). Esta técnica es mejor que el secado convencional, debido a la calidad superior del producto seco (Afolabi, 2014).

Akther et al. (2020), demostraron que mediante el secado al vacío se puede obtener productos con alta calidad proteica. En su estudio secaron mango (*Mangifera indica*) con diferentes métodos de secado, los cuales fueron: secado en horno de vacío, secado por aspersión, secado en gabinete, secado en túnel, secado en horno rotatorio y secado en un horno a gas. En el mango fresco presentó la siguiente composición: 79.55, 1.90, 0.65, 0.01, 0.25 y 0.48%, correspondientes al porcentaje de humedad, proteína cruda, fibra bruta, cenizas y grasa bruta, respectivamente.

En los principales resultados (Tabla 2), se evidencia un aumento en la concentración de nutrientes por efecto de la eliminación del contenido de humedad en todas las técnicas utilizadas. Así también, se observa que el porcentaje de proteína cruda es significativamente diferente en todos los métodos, notando que el secado al vacío presenta un valor más alto de proteína cruda.

Tabla 2. Análisis de la composición próxima del mango en polvo

Muestra	Contenido de humedad (%)	Proteína cruda (%)	Fibra cruda (%)	Contenido de cenizas	Grasa cruda (%)	Carbohidratos (%)
SD	5.80 ± 0.01 ^g	3.30 ± 0.01 ^e	0.85 ± 0.01 ^g	0.99 ± 0.01 ^f	0.73 ± 0.01 ^f	88.33 ± 0.05 ^a
CD (L)	7.70 ± 0.01 ^e	3.50 ± 0.01 ^c	2.70 ± 0.01 ^d	1.30 ± 0.01 ^d	1.80 ± 0.01 ^a	83.00 ± 0.01 ^c
CD (I)	7.20 ± 0.01 ^f	3.40 ± 0.02 ^d	2.80 ± 0.01 ^c	1.40 ± 0.01 ^c	1.70 ± 0.01 ^b	83.50 ± 0.04 ^b
VD	10.50 ± 0.01 ^c	4.40 ± 0.01 ^a	2.20 ± 0.01 ^f	1.49 ± 0.01 ^b	0.95 ± 0.01 ^e	80.46 ± 0.01 ^d
TD	11.10 ± 0.01 ^b	4.25 ± 0.04 ^b	2.40 ± 0.01 ^e	1.10 ± 0.01 ^e	1.59 ± 0.01 ^c	79.56 ± 0.06 ^e
RoD	9.60 ± 0.02 ^d	4.20 ± 0.02 ^b	2.95 ± 0.02 ^b	1.40 ± 0.01 ^c	1.50 ± 0.02 ^d	80.34 ± 0.05 ^d
GoD	12.00 ± 0.01 ^a	4.35 ± 0.02 ^a	3.75 ± 0.02 ^a	1.58 ± 0.02 ^a	0.55 ± 0.01 ^g	77.77 ± 0.06 ^f

Nota: diferentes letras en superíndice denotan una diferencia significativa ($p < 0.5$) en la misma columna.

SD. Secado por aspersión; CD (L). Secado en gabinete a escala de laboratorio; CD (I). Secado en gabinete a escala industrial; VD. secado al vacío; TD. Secado en túnel; RoD. Secado en horno rotatorio; GoD. Secado en horno a gas.

Fuente: Akther et al. (2020)

Por otro lado, existen investigaciones del secado de frutas al vacío con la asistencia de microondas, DO, US, entre otros. Por ejemplo, **Miguel-Olivares (2018)**, evaluó el efecto en la cinética del secado, en el color y la dureza, del proceso realizado al vacío y asistido por US, en cubos de manzana (*Malus domestica*). El secado a vacío se llevó a cabo a 40 y 60°C, con y sin la asistencia de US. En los resultados se evidenció que la remoción de humedad fue mayor en las muestras pretratadas; sin embargo, provocó alteraciones del color durante el proceso de secado.

En cuanto a la dureza, en la Figura 12 se observa que en todos los casos, este parámetro disminuye a medida que transcurre el tiempo de secado. La modificación de la dureza se atribuye al colapso estructural por efecto de la pérdida de agua (**Miguel-Olivares, 2018**) y a la exposición a altas temperaturas (**Contreras, 2008**).

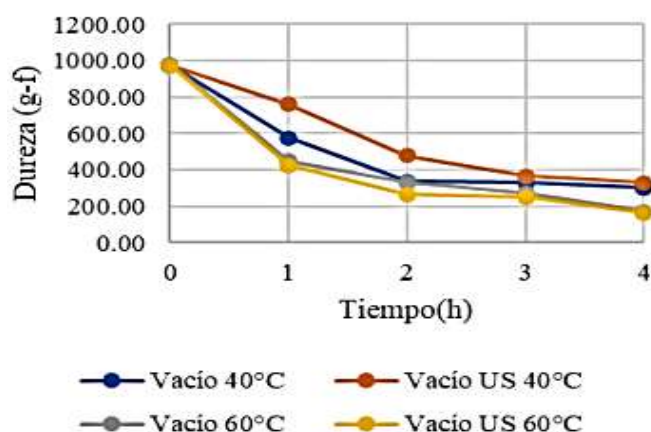


Figura 12. Comportamiento de la dureza de los cubos de manzana (*Malus domestica*) durante el proceso de secado a vacío, con y sin la asistencia de US.

Fuente: Miguel-Olivares (2018)

Así también, **Chandra et al. (2021)**, deshidrataron rodajas de papaya (*Carica papaya*) al vacío a una temperatura de 60°C, utilizando como pretratamiento DO (solución de sacarosa de 25°Brix). Se evidenció que la DO favoreció a la obtención de una textura más suave; además, se pudo apreciar que la reducción de humedad provocó cambios de color. Los autores señalan que el oscurecimiento podría deberse a reacciones de pardeamiento enzimático. Si bien es cierto que el secado a vacío en un ambiente sin oxígeno o con oxígeno reducido, disminuye el riesgo de oscurecimiento enzimático (**Afolabi, 2014**), se debe tomar en cuenta que las reacciones de este tipo también dependen de los compuestos fenólicos, de los agentes reductores y de la “polimerización y degradación de las o-quinonas” (**Morante et al., 2014**).

Tabla 3. Resumen de los efectos de la deshidratación al vacío en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas.

Fruta	Nombre científico	Pretratamientos			Secado al vacío		Efectos en la composición nutricional	Efectos en las propiedades sensoriales	Referencia
		Técnica	Parámetros técnicos	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo de secado (h)			
Mango	<i>Mangifera indica</i>	-	-	-	74	24	La concentración de la proteína cruda fue significativamente ($p < 0.5$) mayor, frente a los métodos de secados convencionales.	-	(Akther et al., 2020)
Manzana	<i>Malus domestica</i>	US	Frecuencia de 40 kHz	-	40 y 60	4	-	-El secado al vacío a 40 °C, favoreció a la retención del color. -El secado a vacío asistido por a US a 60 °C, alcanzó un menor valor de dureza.	(Miguel-Olivares, 2018)
Papaya	<i>Carica papaya</i>	DO	Solución hipertónica de 25°Brix.	10	60	-	-	-Presentó un color más oscuro con respecto a la muestra fresca. -La DO favoreció la obtención de una textura más suave de las rodajas de papaya seca.	(Chandra et al., 2021)
Kuini	<i>Mangifera odorata</i>	-	-	-	74	24	-	- El color del producto final fue amarillo brillante.	(Shuen et al., 2021)

3.1.3.3. Secado solar

Hoy en día, debido al alza de precios de los combustibles de origen fósiles, existe un gran interés en el uso de la energía solar para secar productos agroalimentarios (**Espinosa, 2019**). A esto se suma que los deshidratadores, ya sea a gas o eléctricos, tienen cierta probabilidad de desprender dióxido de carbono, que puede afectar a las propiedades físicas y químicas del producto (**Carrasco et al., 2020**).

En base a lo mencionado anteriormente y buscando solucionar los problemas que ocasiona el secado al aire libre, se ha visto como alternativa la creación de los deshidratadores solares, los cuales contribuyen al ahorro energético y a la calidad del producto; no obstante, la mayoría de estos sistemas es utilizado por los pequeños productores (**Carrasco et al., 2020**), a excepción de los deshidratadores tipo invernadero, que suelen utilizarse para producción a escala industrial (**Garduño-García et al., 2017**).

Hegde et al. (2015), afirman que la velocidad del aire juega un papel importante en la calidad del alimento seco, puesto que en su estudio diseñaron y construyeron un secador solar de tipo indirecto, para secar rodajas de banano con diferentes velocidades de aire (0.5, 1 y 2 m/s). En cuyos resultados se observó que la tasa de eliminación de humedad fue más rápida a la velocidad de 1 m/s (Figura 13), además de que favoreció a la calidad del producto en cuanto al color, textura y aroma.

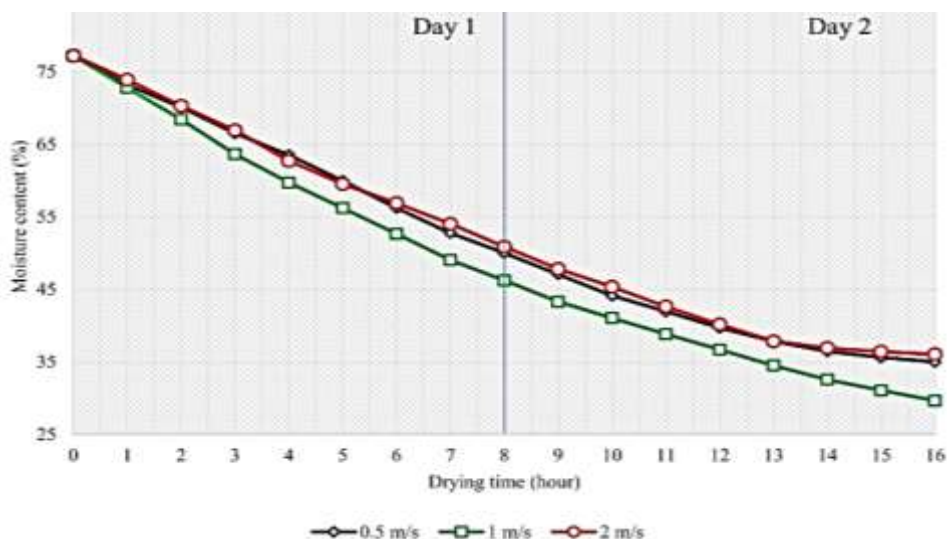


Figura 13. Comparación del contenido de humedad para diferentes velocidades de aire durante el tiempo de secado

Fuente: Hegde et al. (2015)

En cuanto a la calidad del producto, **Sobalvarro et al. (2017)**, demostraron que el secado solar indirecto es mejor que el secado por aire caliente. Su estudio se basó en la deshidratación de papaya Hawaiana (*Carica papaya cv. Hawaiana*). En el secado solar, la temperatura varió entre 29 a 51°C, con un tiempo de secado entre 26 a 30 horas; en cambio, en el método convectivo, el proceso se llevó a cabo a una temperatura constante (40°C) en un tiempo de 4 a 5 horas.

A pesar de que la tecnología solar presentó tiempos prolongados de proceso, la pérdida de humedad fue más uniforme y conservó el color característico de la muestra fresca. Además, en la evaluación sensorial las muestras deshidratadas de manera solar obtuvieron una calificación de 10/10 en apariencia, 7/10 en textura y 5/10 en sabor y preferencia.

De igual forma, **Romero et al. (2020)**, deshidrataron piña (*Ananas comosus*), demostrando que las muestras deshidratadas mediante el secado solar indirecto, presentan una mayor concentración de magnesio y fósforo; por otro lado se observó que el uso de la incubadora solar conserva el calcio y potasio, debido a que exhibió una mayor cantidad con respecto a la muestra fresca.

En cambio, **Capistrán (2021)**, evaluó el efecto de dos secadores solares (gabinete tipo invernadero y un mixto) en las variables físicas y químicas del zapote mamey (*Pouteria sapota*) y chicozapote (*Manilkara zapota*). En los resultados principales se encontró que, en los dos tipos de frutas, el gabinete tipo mixto resultó ser más eficiente en cuanto a la retención de vitamina C, fenoles y flavonoides totales; sin embargo, se observaron valores inferiores de luminosidad y un color más opaco.

Así también, **Tenorio-Reyes et al. (2019)**, secaron rodajas de pera (*Pyrus communis*) mediante el uso de la energía solar, utilizando el mecanismos de transferencia de calor por convección tanto de forma natural como forzada. En los resultados se observó que en las dos formas de secado se logró una reducción de humedad entre 5.91 y 7.63%. Sin embargo, se observó que la convección natural provocó un oscurecimiento más notorio (Figura 14).

Según los autores antes mencionados, la convección natural presenta ciertos problemas en cuanto a la calidad del producto, debido a que no se puede controlar la temperatura a la que se encuentra expuesto el alimento.

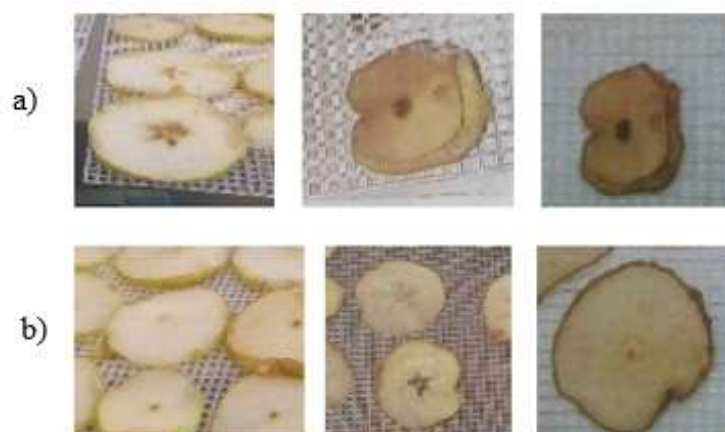


Figura 14. Evolución del color de las muestras de pera mediante el secado por convección natural (a) y convección forzada (b).

Fuente: Tenorio-Reyes et al. (2019)

Por otro lado, **Arroyo y Vicuña (2020)**, evaluaron la influencia de la temperatura en el contenido de vitamina C y en las características sensoriales del aguaymanto (*Physalis peruviana*) deshidratado en un secador solar automatizado. En los principales resultados se observó que el secado a 50°C favoreció a la retención de la vitamina C; en cambio a 70°C la degradación de este compuesto fue significativamente mayor ($p < 0,05$) frente a las demás temperaturas de secado empleadas (Tabla 4). Además, se apreció que la temperatura provocó cambios significativos ($p < 0,05$) en el color, aroma y sabor, sin alteraciones evidentes en la textura.

Tabla 4. Influencia de la temperatura y tiempo de secado en la pérdida y retención de vitamina C del aguaymanto (*Physalis peruviana*) seco

Aguaymanto		Total horas de secado	Porcentaje de Vitamina C retenido	Porcentaje de Vitamina C perdido
Fresco			100	-
	50°C	26	56.09	43.91
Deshidratado	60°C	23	55.80	44.20
	70°C	21	49.12	50.88

Fuente: Arroyo y Vicuña (2020)

Tabla 5. Resumen de los efectos del secado solar en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas

Fruta	Nombre científico	Tipo de secador	Temperatura (°C)	Tiempo de secado (h)	Efectos en la composición nutricional	Efectos en las propiedades sensoriales	Referencia
Zapote mamey	<i>Pouteria sapota</i>	Gabinete tipo invernadero y gabinete tipo mixto	-	2.7 a 4	El gabinete tipo mixto favoreció a la retención de vitamina C.	-El gabinete tipo invernadero presentó mayor luminosidad y un color más claro.	(Capistrán, 2021)
Chicozapote	<i>Manilkara zapota</i>					-En las dos técnicas se mantuvo el dulzor.	
Pera	<i>Pyruscommunis</i>	Convección natural y convección forzada	37.89 y 35.40	13.50	-	-En el secado por convección forzada se mantuvo el color. -El secado por convección natural provocó oscurecimiento del color.	(Tenorio-Reyes et al., 2019)
Banano	<i>Musa paradisiaca</i>	Secador indirecto	-	16	-	A una velocidad de aire de 1 m/s en la entrada del colector, se obtuvo banano seco con buen color, textura y aroma natural.	(Hegde et al., 2015)
Papaya	<i>Carica papaya cv. Hawaiiana</i>	Secador indirecto	29 a 51	26 a 30	-	La valoración para apariencia fue de 10/10, para textura 7/10 y para sabor y preferencia una calificación de 5/10.	(Sobalvarro et al., 2017)
Aguaymanto	<i>Physalis peruviana</i>	Secado solar automatizado	50, 60 y 70	21 a 26	Mayor retención de vitamina C (56.09 %) a una temperatura de 50°C.	El incremento de la temperatura afectó el color, aroma y sabor.	(Arroyo & Vicuña, 2020)

Tabla 5. Resumen de los efectos del secado solar en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas (continuación)

Fruta	Nombre científico	Tipo de secador	Temperatura (°C)	Tiempo de secado (h)	Efectos en la composición nutricional	Efectos en las propiedades sensoriales	Referencia
Piña	<i>Ananas comosus</i>	Secador solar indirecto	65.2	96	Mayor concentración de magnesio y fósforo	- Aroma débil - Sabor propio de la fruta. - Color amarillo-café.	(Romero et al., 2020)
		Incubadora solar	65	48	Mayor concentración de calcio y potasio.	- Aroma débil. - Color amarillo ámbar. - Sabor propio de la fruta.	(Romero et al., 2020)
Frambuesa	<i>Rubus Idaeus</i>	Secador solar por convección natural	30	-	-	- Se conservó el color superficial - Textura ligeramente suave	(Rodríguez et al., 2018)
Durazno	<i>Prunus persica</i>	Secador solar	40.25 a 43.5	24	La concentración de vitamina C (24.88 mg/100g) fue superior a la muestra fresca (16.84 mg/100g).	-	(Anticona, 2020)
		Tradicional, directo, indirecto, tipo túnel	-	-	- Se obtuvo mayor cantidad de potasio (778.74 mg/100g) y vitamina A (35.73 ug/100g) en el secador indirecto. - Se obtuvo mayor cantidad de vitamina C (22.76 mg/100g) en el secador directo.	Se obtuvieron mejores resultados de color, olor y textura en el secado tradicional.	(Valdez, 2016)

3.1.3.1. Secado por microondas

Los equipos que deshidratan alimentos mediante microondas presentan tiempos de secado relativamente cortos, por lo que han reemplazado a las técnicas de liofilización y secado a vacío (Wais, 2011). Así también, se utiliza en vez del secado por aire caliente, para contrarrestar pérdidas de calidad ocasionadas por la exposición a altas temperaturas y tiempos extensos de proceso (Zielinska et al., 2018).

Mediante el secado de fresa (*Fragaria*) por microondas a una potencia de 10 kW, se demostró que esta tecnología se caracteriza por su rápida transferencia de calor, de manera que acorta el tiempo de secado y ahorra el consumo energético. En los resultados se evidenció que en 45 minutos de proceso se logró reducir el 85% del peso de la muestra fresca, mediante remoción de la humedad (Alvarado, 2017).

Así también, Sagastibelza (2018), reportó que durante los procesos de secado del plátano (*Musa paradisiaca*), fresa (*Fragaria*), kiwi (*Actinidia deliciosa*) y manzana (*Malus domestica*), mediante el uso de esta tecnología se puede conseguir un ahorro energético comprendido entre un 59.93 y 89.41%, en comparación con el consumo energético del secado por aire caliente.

No obstante Chong et al. (2014), indican que el uso de microondas por sí solo puede disminuir la calidad del producto seco. Por ende, su uso se combina con otros métodos, los más conocidos son secado de microondas por convección y secado de microondas al vacío. Wojdyło et al. (2014), señalan que al combinar los métodos aire caliente-microondas, el primero elimina el agua de la superficie de la muestra, mientras que el segundo elimina el agua del interior de la muestra; así también, mencionan que mediante el secado por microondas al vacío se reduce el efecto de la oxidación.

Es así que, en arándanos (*Vaccinium macrocarpon*) secados por microondas al vacío a una potencia de microondas de 100 W, se encontró que esta técnica es más eficiente que la liofilización en cuanto a la retención de antocianinas, flavonoides y contenido fenólico total. Cabe señalar que el contenido de antocianinas fue 1.5 veces superior que en las muestras liofilizadas. Sin embargo, se notó que al incrementar la potencia del microondas (500 W y 800 W), el contenido de polifenoles fue 70% menor que en arándanos liofilizados (Zielinska et al., 2018).

Para evaluar la eficacia de las microondas al vacío en cuanto a la calidad del producto, **Bozkir et al. (2021)**, compararon dicho método con las técnicas de secado por aire caliente y secado por infrarrojos al vacío. En los resultados se encontró que mediante el secado de microondas al vacío existieron mayores retenciones de vitamina C, carotenoides y fenoles totales; y con respecto a la retención de compuestos volátiles (aldehídos, cetonas, ésteres, terpenos, entre otros), esta técnica resultó ser superior que el secado convectivo, e inferior que el secado por infrarrojos al vacío.

Así también, **Zielinska et al. (2018)**, encontraron que en los frutos secos de arándanos mediante microondas al vacío a una potencia de 100 W, el color fue similar a la muestra fresca congelada (Figura 15). **Wojdylo et al. (2014)**, aseguran que el color rojo se relaciona con el contenido de antocianinas y que a su vez la retención de antocianinas depende de la potencia empleada.

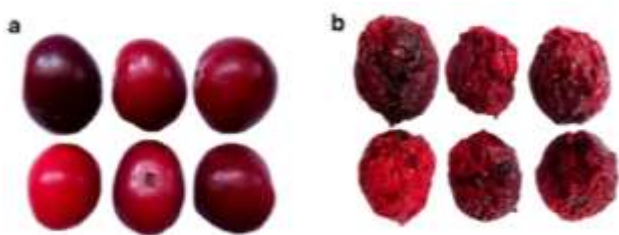


Figura 15. a) Arándanos congelados; b) arándanos congelados sometidos a secado al vacío por microondas a una potencia de 100 W.

Fuente: Zielinska et al. (2018)

Cabe señalar que en algunas aplicaciones el uso de microondas al vacío se ha utilizado como secado complementario de otras técnicas de secado, ya sea por costos de inversión o para mejorar la calidad del producto. Por ejemplo **Nowacka et al. (2019)**, realizaron la osmo-deshidratación de arándanos con soluciones de sacarosa al 30 y 61.5%, con la finalidad de contrarrestar el sabor ácido de los frutos. Una vez transcurridas las 72 h de inmersión, se completó el secado mediante microondas a vacío con una potencia de 150 W. En los principales resultados se encontró que las muestras secas exhibieron valores de vitamina C significativamente menores ($p < 0,05$) frente a los frutos frescos, debido a la lixiviación de vitamina C del producto, a la solución osmótica durante la etapa de presecado (**Deng et al., 2019**); así también, los frutos secos disminuyeron la intensidad del color, lo cual se relacionó con la fuga de antocianinas a la solución osmótica (**Nowacka et al., 2019**).

Tabla 6. Resumen de los efectos de la deshidratación por microondas en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas.

Fruta	Nombre científico	Pretratamientos			Secado con microondas		Efectos en la composición nutricional	Efectos en las propiedades sensoriales	Referencia
		Técnica	Parámetros técnicos	Tiempo (h)	Potencia del microondas (W)	Tiempo (min)			
Marañón rojo	<i>Anacardium occidentale</i>	-	-	-	372 a 460	12 a 18	-	El valor de la luminosidad fue mayor a una potencia de 390 W.	(Cruz et al., 2019)
Manzana	<i>Malus domestica</i>	-	-	-	90, 180 y 360	50, 80 y 130	-	Provocó cambios en el color al aumentar la potencia de 90 a 180 W.	(Sharabiani et al., 2021)
		-	-	-	100, 500 y 800	1.5 a 20	-	A una potencia de microondas de 100 W, conservó el color característico del fruto.	
Arándanos	<i>Vaccinium macrocarpon</i>	DO	Solución hipertónica de sacarosa al 30 y 61.5%.	72	150	-	Se redujo significativamente el contenido de la vitamina C, en comparación con el fruto fresco.	-Sabor agradable. - Disminución de la intensidad del color.	*(Nowacka et al., 2019).
Guinda	<i>Prunus cerasus</i>	-	-	-	240, 360 y 480	-	-	El color fue más atractivo que las muestras secadas por el método convencional.	*(Wojdylo et al., 2014)
Cáscara de naranja	<i>Citrus sinensis</i>	-	-	-	334	20.67	La vitamina C se degradó de 292.235 a 272.862 mg/100 g.	Pérdida del color y aroma.	*(Bozkir et al., 2021)

*Secado por microondas al vacío.

3.1.4. Deshidratación osmótica

Durante la DO de frutas, la pérdida de agua y la ganancia de sólidos dependen principalmente de la concentración y temperatura de la solución osmótica. Así lo demostraron **Alegre y Linares (2016)**, mediante la evaluación del efecto de la temperatura (30 a 50°C) y concentración de miel de abeja (30 a 60°Brix), en la cinética de secado del mamey (*Mammea americana*).

Transcurridas las 8 horas de la DO se evidenció que los dos parámetros antes mencionados influyeron significativamente ($p < 0.05$) en la pérdida de agua y ganancia de sólidos (Figuras 16 y 17).

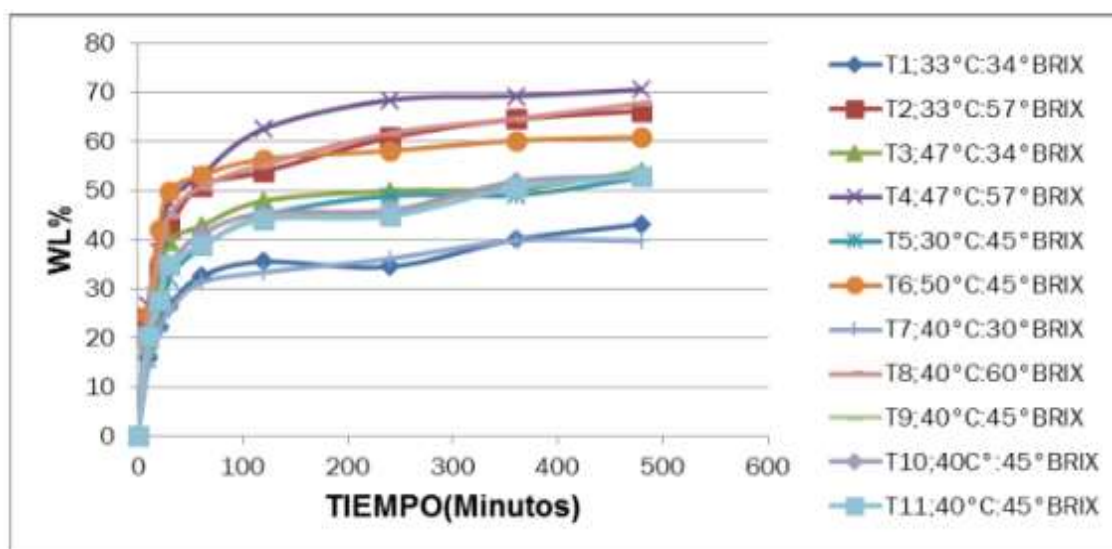


Figura 16. Cinética de eliminación de agua (WL%) del mamey (*Mammea americana*) para diferentes tratamientos

Fuente: Alegre y Linares (2016)

En la Figura 16 se observa que en todos los tratamientos, la eliminación del agua fue más rápida en los primeros 60 minutos de secado, después de este tiempo la pérdida es más lenta. Además, se aprecia que el tratamiento cuatro (57°Brix y 47°C) alcanzó una mayor pérdida del contenido acuoso.

Resultados similares fueron reportados por **Ortega-Villalba et al. (2016)**, donde obtuvieron una mayor pérdida de agua en piezas cilíndricas de melón (*Cucumis melo*) en los primeros 70 minutos del proceso. Este mecanismo de difusión se atribuye al gradiente de concentración entre la muestra y la solución osmótica (**Pérez & Supho, 2019**).

En la Figura 17 se observa que el tratamiento cuatro (57°Brix y 47°C) fue el que obtuvo mayor ganancia de sólidos; en cambio, el tratamiento 7 (30°Brix y 40°C) fue el que ganó sólidos en menor porcentaje. Los resultados obtenidos indican que a medida que se incrementa la temperatura de la solución osmótica, existe mayor alteración de la estructura celular, lo cual favorece la entrada de solutos hacia el interior de los alimentos (Arias et al., 2017).

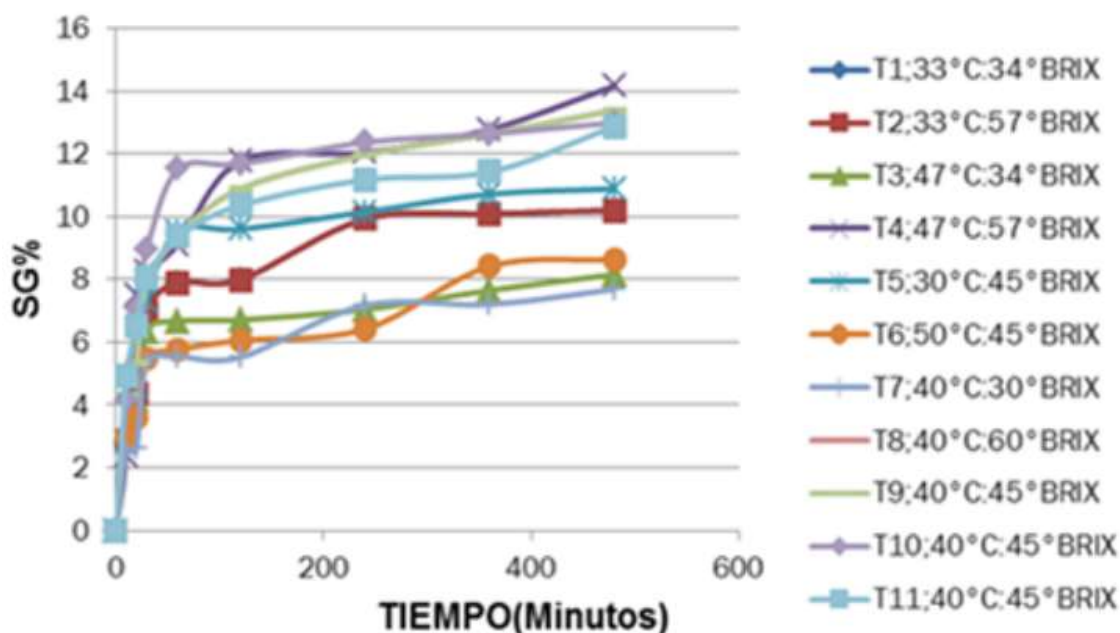


Figura 17. Cinética de ganancia de sólidos (SG%) del mamey (*Mammea americana*) para diferentes tratamientos.

Fuente: Alegre y Linares (2016)

Manzoor et al. (2021), indican que para contrarrestar efectos adversos de deformación, debido a la naturaleza lenta de la DO, se han estudiado algunas técnicas que pueden ser combinadas con este tipo de secado. Los autores antes mencionados estudiaron la DO de manzana (*Malus domestica*) a diferentes concentraciones de solución de sacarosa (40, 50 y 60°Brix) con la asistencia de microondas (10, 20 y 30% de la potencia máxima de 700 W) a una temperatura de 45°C, donde se evidenció que el aumento de la potencia favorece a la tasa de reducción del contenido de humedad; sin embargo, afecta las características del color.

Resultados similares fueron reportados en la DO de carambola (*Averrhoa carambola*) asistida por ultrasonido (Castillo-Zamudio et al., 2017).

Por otro lado, la actividad de agua (a_w) que se alcanza al final del proceso de deshidratación osmótica, no es suficiente para controlar la actividad microbológica. En este sentido **Estrada et al. (2018)**, deshidrataron guayaba (*Mangifera indica* L.) y mango (*Psidium guajava* L.) mediante DO en una solución de sacarosa (40% p/p), obteniendo como resultado que la a_w de las dos frutas osmodeshidratadas fueron superiores a 0.6. Para que un producto deshidratado sea estable a temperatura ambiente la a_w debe ser menor o igual a 0.6 (**Badui, 2006**).

Un resultado similar fue reportado por **Mestas y Quispe (2016)**, en frutos osmodeshidratados de cocona (*Solanum sessiliflorum*) y de tomate de árbol (*Solanum betaceum*).

Respecto a la calidad del producto, **Conde et al. (2020)** y **Mestas y Quispe (2016)**, indican que para proteger la integridad de los tejidos y conservar las características sensoriales propias de la fruta, las temperaturas óptimas de DO están comprendidas entre 20 y 40 °C.

Por ejemplo, **Taffur y Zambrano (2019)**, evaluaron la DO como método de conservación de la uvilla (*Physalis Peruviana*) obteniendo como resultado que las muestras sumergidas en una solución de sacarosa (55°Brix) a temperatura ambiente, obtuvieron un color vivo y brillante, un olor suave, textura semiblanda y un sabor levemente ácido y amargo, cuyas características fueron aceptables por los catadores. La textura semiblanda observada en las muestras tratadas se atribuye al depósito de sólidos en la superficie del alimento (**Alvis-Bermudez et al., 2016**).

De la misma manera **Ortega-Villalba et al. (2016)**, sostienen que la DO a temperaturas bajas y a elevadas concentraciones, favorece a la intensidad del color. Así lo demostraron mediante la DO de melón (*Cucumis melo*), utilizando una solución de sacarosa a diferentes concentraciones (45, 55 y 65°Brix) y a una temperatura de 30°C. Según sus resultados a las 4 horas de iniciado el proceso, las muestras sumergidas en la solución de 65°Brix, alcanzaron un color más intenso respecto a la muestra inicial. Sin embargo, la pérdida de luminosidad fue significativamente mayor ($p < 0,05$). Los autores mencionan que la pérdida de luminosidad pudo deberse a una elevada acumulación de solutos en la superficie de las muestras, así como dentro de la matriz.

Además, **Carbajal y Torres (2018)**, indican que la textura y el color dependen de la temperatura de la solución osmótica. Dicha conclusión fue obtenida en su estudio en el que deshidrataron fresas (*fragaria vesca*) mediante una solución mantenida a 20°C. A esta temperatura las muestras presentaron una textura firme y un color similar a la muestra fresca. Por otro lado, las muestras tratadas a 80°C presentaron una textura blanda y una alta degradación del color. Los autores indican que las alteraciones de textura y color se deben a la desintegración celular y a la pérdida de antocianinas que ocurre durante el proceso, respectivamente.

Por otro lado **Germer et al. (2017)**, señalan que si la DO no se da en forma favorable, esta provoca pérdidas de sustancias de bajo peso molecular (vitaminas, minerales y pigmentos) que migran del tejido alimentario hacia la solución osmótica.

F. García et al. (2018), mostraron que la piña (*Ananas Comosus L.*) osmodeshidratada en una solución de sacarosa (70°Brix) a 60°C durante 48 horas, provoca pérdidas de vitamina C del 28.5%, con respecto a la muestra fresca.

Además, **Mestas y Quispe (2016)**, indican que para preservar los nutrientes del alimento durante la DO, el proceso se debe llevar a cabo a bajas temperaturas y a altas concentraciones osmóticas. La afirmación previamente mencionada fue resultado de su estudio, en el que se encontró que para concentrar el contenido nutricional de los frutos de cocona (*Solanum sessiliflorum*) y tomate de árbol (*Solanum betaceum*), mediante la eliminación del agua a temperatura ambiente, los valores óptimos de concentración de la solución osmótica fueron: 63.53% de sacarosa y 2.04% de cloruro de calcio, y 65% de sacarosa y 2.73% de cloruro de calcio 2.73%, respectivamente.

Si bien la DO provoca pérdidas de algunos compuestos solubles de origen natural, como vitamina C, esta técnica facilita la incorporación de sólidos que poseen funciones de conservación, y además mejoran las propiedades organolépticas y nutricionales del alimento (**Deng et al., 2019**).

Por ejemplo, esta tecnología se utiliza también para adicionar cloruro de calcio a las matrices alimenticias; se suele agregar dicho componente a la solución de sacarosa, con el fin de que los iones de calcio se incorporen a la fruta y este pueda ser consumido como una fuente de calcio (**Estaba et al., 2006**).

Tabla 7. Resumen de los efectos de la deshidratación osmótica en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas.

Fruta	Nombre científico	Parámetros técnicos	Temperatura (°C)	Tiempo de secado (h)	Efectos en la composición nutricional	Efectos en las propiedades sensoriales	Referencia
Melón	<i>Cucumis melo</i>	Solución de sacarosa a 45, 55 y 65°Brix	30	4	-	-Mayor concentración del color. -Pérdida leve de luminosidad.	(Ortega-Villalba et al., 2016)
Piña	<i>Ananas comosus</i>	Solución de sacarosa a 60, 65 y 70°Brix	60	3, 6, 24 y 48	Presentó pérdidas de vitamina C de 28.5% a 35.6% con respecto al producto fresco.	-	(F. García et al., 2018)
Fresa	<i>Fragaria vesca</i>	Solución de sacarosa a 50°Brix	20	5	-	Textura firme y leve degradación del color.	(Carbajal & Torres, 2018)
		Solución de sacarosa a 70°Brix	80	5	-	Textura blanda y mayor pérdida del color.	(Carbajal & Torres, 2018)
Uvilla	<i>Physalis Peruviana</i>	Solución de sacarosa a 55°Brix	-	12	-	Adquirió un color vivo y brillante, un olor suave, una textura semiblanda y un sabor levemente ácido y amargo.	(Taffur & Zambrano, 2019)
Guayaba	<i>(Psidium guajava)</i>	Solución de sacarosa a 40 y 60°Brix	30	2	Mayor concentración de proteína, fibra y grasa.	Color, sabor y textura aceptables.	(Pérez & Supho, 2019)
Tomate de árbol	<i>Solanum betaceum</i>	Solución de sacarosa (65%) y CaCl ₂ (2.73%)	30	12	Mayor concentración de proteína, fibra, carbohidratos, cenizas y ácido ascórbico.	-	(Mestas & Quispe, 2016)
Cocona	<i>Solanum sessiliflorum</i>	Solución de sacarosa (63.53%) y CaCl ₂ (2.04%)	30	12		-	(Mestas & Quispe, 2016)

3.1.5. Deshidratación de frutas por liofilización

La liofilización conserva en gran parte las propiedades organolépticas y nutricionales de los alimentos, los productos tratados con este proceso se caracterizan por su baja actividad de agua y alta porosidad (Harnkarnsujarit et al., 2016). Escobar (2020), señala que mediante esta técnica es posible eliminar hasta el 99% de la humedad del alimento, por ende, los alimentos tratados con esta metodología presentan un tiempo de vida útil más prolongado.

Con el objetivo de disminuir los costos energéticos y optimizar el proceso de deshidratación por liofilización, se suelen emplear diferentes pretratamientos, los cuales ayudan a modificar los tejidos estructurales de la matriz sólida, eliminar parcialmente el agua y generar transferencia de masa desde la región de mayor concentración, hacia la de menor concentración (Diaz, 2017). Como pretratamientos a la liofilización se han usado la DO, US, entre otros.

E. S. Mosquera-Vivas et al. (2019), realizaron un estudio en melón (*Cucumis melo*), el que fue previamente sometido a DO y US, como pretratamiento. El proceso de liofilización se realizó a una temperatura de congelación de -40°C , en bandejas LABCOMCO. Una variable de interés detectada en este estudio fue la cinética de secado a tiempos de 0, 60, 120, 180, 240 y 300 min.

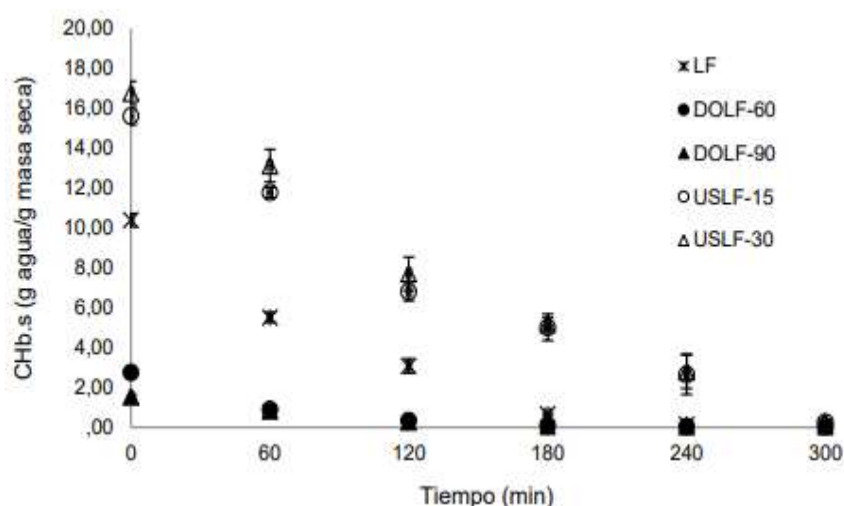


Figura 18. Cinética de secado de rodajas de melón liofilizado.

Muestras con pretratamientos de deshidratación osmótica 60 (DOLF-60) y 90 min (DOLF-90); muestras con pretratamiento ultrasonido US-15 (USLF-15) y 30 min (USLF-30); y muestras liofilizadas no tratadas (LF).

Fuente: E. S. Mosquera-Vivas et al. (2019)

En la Figura 18 se logran observar las curvas de secado de las muestras de melón deshidratadas por liofilización. Se determinó que el tiempo de DO y el tiempo de aplicación de US, como pretratamientos, presentaron un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el contenido de humedad del melón. Además, se aprecia que las muestras pretratadas con DO presentaron menores tiempos de secado hasta alcanzar un nivel de humedad específico.

De igual forma, **Simpalo et al. (2020)**, afirman que el aplicar DO como pretratamiento ayuda a una mayor pérdida de agua durante el secado. En su estudio utilizaron frutos de cactaceae (*Haageocereus pseudomelanostele*) previamente tratadas con DO y después liofilizadas. Las muestras sometidas a un tratamiento previo, presentaron un tiempo de secado reducido, en comparación con las muestras que no fueron pretratadas.

En el caso de aplicar DO como pretratamiento, **Amami et al. (2017)**, aseguran que el DO favorece una difusión simultánea. Además, se observa una transferencia de agua desde la fruta hacia la solución osmótica y una ganancia de sólidos solubles desde la solución osmótica hacia la fruta, favoreciendo así el proceso de transferencia de masa durante el proceso de deshidratado.

Así también, **Rivera et al. (2019)**, aplicaron la DO como tratamiento previo a la liofilización, al secado por ventana de refractancia (VR) y al secado convectivo de rodajas de banano (*Musa acuminata*). En los resultados se evidenció que la liofilización fue superior a las otras dos técnicas, en cuanto a la reducción de humedad y retención de fibra. Además, resultó ser más eficiente que el secado convectivo, ya que se conserva en mayor proporción las vitaminas A y C.

En cambio, **Grajales-Agudelo et al. (2005)**, analizaron la influencia de la velocidad de congelación y de calefacción en el potencial de rehidratación de carambolas (*Averrhoa carambola*). Las muestras de fruta fueron inicialmente tratadas osmóticamente con una solución hipertónica a 65°Brix. Posteriormente emplearon un congelador comercial (General Electric) y un sistema de liofilización. Durante ambos procesos los autores midieron los parámetros de interés anteriormente mencionados. Los ensayos realizados permitieron determinar que existió una influencia considerable de la velocidad de secado sobre la humedad final de las rodajas de carambola.

Por otro lado, **Ciurzyńska y Lenart (2009)**, deshidrataron mediante liofilización fresas (*Fragaria*), sin aplicar ningún tipo de pretratamiento. Las fresas congeladas se liofilizaron a una temperatura de 10, 30, 50 y 70°C, por 24 horas.

En los principales resultados se encontró que con un incremento de la temperatura del estante de calentamiento, en el rango de 10 a 50°C, las muestras evidenciaron un incremento en el tiempo de rehidratación. Sin embargo, en las fresas liofilizadas a 70°C existieron cambios desfavorables en la estructura de la fruta, disminuyendo así su calidad y la capacidad de inhibición del agua.

En la Figura 19 se pueden observar las curvas de secado que exhibieron las fresas durante el proceso de liofilización. Claramente se identificó la influencia de la temperatura del estante de calentamiento sobre el contenido de agua.

Se observa que en un rango de 10 a 50°C la capacidad de rehidratación incrementa, mientras que a una temperatura de 60°C la capacidad de rehidratación se ve afectada, mostrando cambios no solo en la superficie de la fresa sino también es su interior, y sobre los 70°C se provocaron daños en la estructura de las fresas.

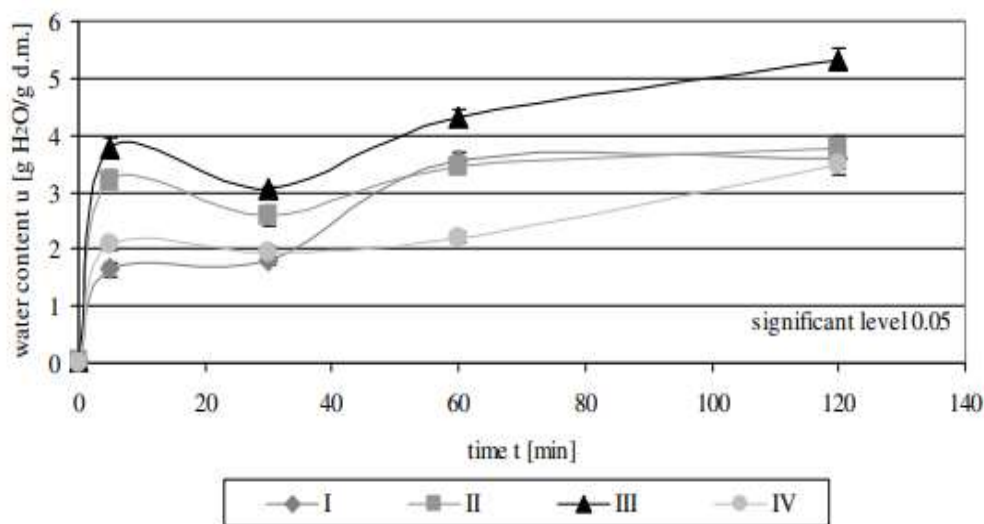


Figura 19. Influencia de la temperatura sobre el contenido de agua, en función del tiempo de rehidratación, para fresas liofilizadas sin pretratamientos.

Temperatura: I- 10°C, II-30°C, III-50°C, IV-70°C.

Fuente:Ciurzyńska y Lenart (2009)

En relación a los efectos nutricionales que conlleva el uso de la liofilización en frutas, **Surco-Laos et al. (2017)**, en su estudio reportan que al analizar el contenido de vitamina C, de cuatro variedad de mangos (*Mangifera indica*) liofilizados, no se encontró diferencia significativa en los valores de esta vitamina reflejados por todas las muestras. Por ende concluyen que el proceso de liofilización no afecta el contenido de este micronutriente. En la Figura 20 se observa que contenido de vitamina C (en mg/100 g en base seca) de las cuatro variedades estudiadas. Obsérvese que el proceso de liofilización permite preservar este componente.

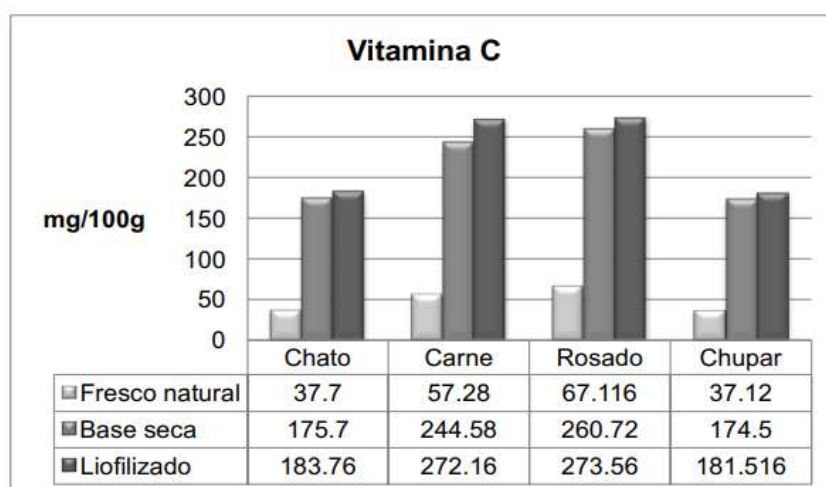


Figura 20. Contenido de vitamina C en pulpa de mango según variedad

Fuente: Surco-Laos et al. (2017)

En este mismo estudio se evidenció que el contenido de carotenoides se vio afectado. Obsérvese que la pérdida de carotenoides totales (mg B-caroteno/100g) en el mango variedad carne fue de hasta un 40.9% (Tabla 8).

Tabla 8. Relación del contenido de carotenoides totales (mg B-carateno/100g).

Variedad	Pulpa fresca (b.s)	Pulpa liofilizada	% de pérdida
Chato	238.30	140.9	40.9
Carne	169.32	122.78	27.5
Rosado	1010.20	645.42	36.1
Chupar	269.05	172.64	35.8

b.s. = base seca

Fuente: Surco-Laos et al. (2017)

Tabla 9. Resumen de los efectos de la liofilización en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas

Fruta	Nombre científico	Pretratamiento			Liofilización			Efectos en la composición nutricional	Efectos en las propiedades sensoriales	Referencia
		Técnica	Parámetros técnicos	Tiempo (min)	Equipo empleado	Tiempo (h)	Congelación (°C)			
Melón	<i>Cucumis melo</i>	DO	Solución hipertónica 45°Brix	60 y 90	Liofilizador de bandejas	0, 1, 2, 3, 4, 5	-40	-	- No se presentó afectación a la textura de las muestras.	E. S. Mosquera-Vivas et al. (2019)
		US	Ondas de frecuencia: 45 kHz	15 y 30	Liofilizador de bandejas	0, 1, 2, 3, 4, 5	-40	-	- Menor porosidad en la matriz de la fruta. - No favoreció a la liofilización.	
Guayaba Pera	<i>Psidium guajava</i>	-	-	-	LABCONCO	6, 12, 18, 24	-80	- Se preservó el contenido de vitamina C. - Existió una reducción en la capacidad de retención de lípidos (CAL)	Se identificó una pérdida de la capacidad de retención de agua y afectación a la textura.	Serpa et al. (2015)
Pitahaya amarilla	<i>Selenicereus megalanthus</i>	DO	Solución hipertónica 55°Brix	35	LABCONCO	12	-35	-	- Se formó un encostramiento en la superficie de las muestras. - Pérdida de la rigidez.	Ayala et al. (2010)
		-	-	-	LABCONCO	12	-35	-	- No existió daños en la estructura de las frutas. - Bajo encogimiento celular.	

Tabla 9. Resumen de los efectos de la liofilización en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutas (continuación)

Fruta	Nombre científico	Pretratamiento			Liofilización			Efectos en la composición nutricional	Efectos en las propiedades sensoriales	Referencia
		Técnica	Parámetros técnicos	Tiempo (min)	Equipo empleado	Tiempo (h)	Congelación (°C)			
Fresa	<i>Fragaria</i>	-	-	-	Virtis Freezemobile	24 y 48	-92	-	- Aumentó la intensidad del color rojo de la fruta. - Pérdida de la uniformidad de las muestras.	(Shishegharha et al., 2002)
Charalina	<i>Casimiroa edulis</i>	DO	Solución hipertónica 63.57°Brix	-	LABCONCO	-	-40	Existió una disminución de Vitamina C de 49,63%	-	Castañeda et al. (2010)
		-	-	-	LABCONCO	-	-40	- Existió una disminución de Vitamina C de 21,47%	-	
Banano	<i>Musa acuminata</i>	DO	-	180	-	24	-40	- Las muestras liofilizadas presentaron mayor retención de fibra (11.507 g/100g) que los de secado por convección (8.453 g/100g) y VR (8.283 g/100g). - La liofilización superó al secado convectivo con respecto a la retención de las vitaminas C y A.	-	(Rivera et al., 2019)
Carambola	<i>Averrhoa carambola L</i>	DO	Solución hipertónica 65°Brix	300	General electric	24	-40	- Afectación al contenido de ácido ascórbico	- Acentuamiento en el color amarillo - Ligero pardeamiento	Grajales-Agudelo et al. (2005)

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Mediante información recopilada en revistas, libros y tesis, se realizó una discusión sobre los métodos de deshidratación más utilizados para conservar alimentos, tanto a nivel científico como industrial. Se analizaron sus efectos y se compararon con su eficiencia, versatilidad y facilidad de manejo.
- Las deshidrataciones osmótica y solar se emplean mayormente en aquellas industrias o procesos en los que se busca ahorrar energía y cuando se busca que la calidad del producto seco no se vea afectada. Mientras que las deshidrataciones al vacío, por microondas y liofilización son utilizados con mayor frecuencia para conservar alimentos altamente sensibles a procesos térmicos, como el caso de las frutas.
- Los efectos nutricionales y sensoriales que ocurren en las frutas durante los procesos de deshidratación, dependen de las condiciones de proceso, principalmente de las variables de temperatura y tiempo de deshidratación, de la concentración de la solución hipertónica, de la potencia del equipo, del tipo de pretratamiento, de la naturaleza de las frutas, entre otros.
- En la mayoría de las investigaciones se evidenció que si se utilizan temperaturas superiores a los 50°C, se provocan mayores afecciones a la calidad del producto, principalmente alteraciones de textura y color, volatilización de los compuestos responsables del sabor y aroma, aparición de colores oscuros y pérdidas de compuestos nutricionales, que en su mayoría son vitaminas termolábiles.

4.2. Recomendaciones

- Profundizar el efecto de la temperatura y tiempo de deshidratación sobre la enzima polifenol oxidasa.
- Ampliar la investigación sobre los efectos de los diferentes métodos de deshidratación en la porosidad y capacidad de rehidratación de frutas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adiletta, G., Russo, P., Senadeera, W., & Di Matteo, M. (2016). Drying characteristics and quality of grape under physical pretreatment. *Journal of Food Engineering*, 172, 9-18. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.031>
- Afolabi, I. (2014). Moisture migration and bulk nutrients interaction in a drying food systems: a review. *Food and Nutrition Sciences*, 58(8), 692-714.
- Akther, S., Sultana, A., Badsha, M. R., Rahman, M. M., Alim, M. A., & Amin, A. M. (2020). Physicochemical properties of mango (Amropali cultivar) powder and its reconstituted product as affected by drying methods. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 2201-2216. doi:10.1080/10942912.2020.1849278
- Alegre, C., & Linares, G. (2016). Efecto de la temperatura y concentración de miel de abeja sobre la cinética de deshidratación osmótica, y aceptabilidad general en la elaboración de snacks de mamey (*Mammea americana*). *Innovación en Ingeniería*, 2(1).
- Alvarado, M. (2017). Estudio del proceso de secado de fresa usando horno microondas. *Prospectiva*, 15(1), 29-34.
- Alvis-Bermudez, A., García-Mogollon, C., & Dussán-Sarria, S. (2016). Cambios en la textura y color en mango (Tommy Atkins) presecado por deshidratación osmótica y microondas. *Información tecnológica*, 27(2), 31-38.
- Amami, E., Khezami, W., Mezrigui, S., Badwaik, L. S., Bejar, A. K., Perez, C. T., & Kechaou, N. (2017). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 36, 286-300. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.007>
- Anticona, L. (2020). *Efecto del secado solar y convectivo en el contenido de vitamina C y capacidad antioxidante en trozos de durazno (Prunus persica L.) escaldado variedad Tilton*. (Ingeniero Agroindustrial), Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo-Perú. Recuperado de <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/17500/Anticona%20Rios%2c%20Leida%20Lucira.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Aponte, A., Ramirez, Y., & Cock, L. (2017). Cambios en propiedades mecánicas durante la deshidratación osmótica de pitahaya amarilla. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 15(2), 39-48.
- Argueta Reyes, D. E., Saldaña Arredondo, D., Tapia Guevara, M. E., Vázquez Calderón, I. G., & Alfaro Ayala, J. A. (2019). Estudio del secado solar de alimento mediante energía solar. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 5(1).
- Arias, L., Perea, Y., & Zapata, J. (2017). Cinética de la transferencia de masa en la deshidratación osmótica de mango (*Mangifera indica* L.) var. Tommy Atkins, en función de la temperatura. *Información tecnológica*, 28(3), 47-58.
- Arroyo, P., & Vicuña, S. (2020). *Efecto de la temperatura en la vitamina C del aguaymanto (Physalis peruviana l.), con aplicación de un secador solar automatizado.* (Ingeniera Agroindustrial), Universidad Nacional del Centro del Perú, Tarma-Perú. Recuperado de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6293/T010_72097003_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Auquiñivin, E., & Paucar, L. (2020). Estudio comparativo de las características fisicoquímicas y vida útil de las papayas nativas "papayita de monte" (*Carica pubescens* Lenné & K. Koch) y "babaco" (*Carica pentagona* Heilborn) deshidratadas mediante liofilización. *Arnaldoa*, 27(1), 115-128.
- Ayala, A. A., Serna, L., & Mosquera, E. (2010). Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Vitae*, 17(2), 121-127.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (Cuarta ed.). México: Pearson education.
- Barrionuevo, E. (2018). *Efecto del ozono gaseoso sobre la calidad microbiológica de moras de castilla (Rubus glaucus Benth).* (Ingeniera Bioquímica), Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Ambato-Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28850/1/BQ%20167.pdf>
- Berk, Z. (2013a). Dehydration. In *Food Process Engineering and Technology* (pp. 511-562). San Diego, United States: Elsevier Science & Technology.
- Berk, Z. (2013b). Freeze drying (lyophilization) and freeze concentration. In *Food Process Engineering and Technology* (pp. 567-579). San Diego, United State: Elsevier Science & Technology.

- Bozkir, H., Tekgül, Y., & Erten, E. S. (2021). Effects of tray drying, vacuum infrared drying, and vacuum microwave drying techniques on quality characteristics and aroma profile of orange peels. *44*(1), e13611. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpe.13611>
- Cabascango, O. (2018). Manual de deshidratación. In E. P. Universidad Técnica del Norte (UTN (Ed.). Ibarra-Ecuador.
- Camargo, K., & Carrillo, M. (2018). *Evaluación de las condiciones de operación de un equipo deshidratador de fruta para la obtención de mora de castilla deshidratada en una empresa de alimentos*. (Ingeniero Químico), Fundación Universidad de América, Bogotá. Recuperado de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6701/1/6121965-2018-1-IQ.pdf>
- Campo-Vera, Y., Contreras-Lozano, M., & Ayala-Aponte, A. (2020). Efecto del pretratamiento con ultrasonido en las cinéticas de secado convectivo de la Uchuva (*Physalis peruviana*). *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, *11*(2), 62-73.
- Campostrini, F., Sosa, N., Gabriela, M., & Roy, R. (2018). Optimización del uso de arándanos, nueces, amaranto y miel en la elaboración de un bocadito con compuestos bioactivos. In U. N. d. Cuyo (Ed.). Mendoza-Argentina.
- Capistrán, A. (2021). *Secado de frutas nativas de México y el estudio de sus propiedades físico-químicas*. (Maestra en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural), Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Morelos-México. Recuperado de <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/1964/CAMARN09T.pdf?sequence=1>
- Carbajal, M., & Torres, M. (2018). *Deshidratación osmótica de fresas (*fragaria vesca L.*) con aplicación de presión reducida*. (Ingenieras Químicas), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa-Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7570/IQcaanme2.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Carneiro, R., Rupert, S., Batista, R., da Silva, E., Fernandes, J., & Moreira, P. (2020). Effect of ethanol pretreatment on melon convective drying. *Food Chemistry*, *333*, 127502. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127502>

- Carrasco, D., Ayala, D., Álvarez, L., & Miranda, M. (2020). Sostenibilidad medio ambiental en el procesamiento de frutas deshidratadas ecuatorianas. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 4(35), 1-15.
- Castañeda, J., Arteaga, H., Siche, R., & Rodríguez, G. (2010). Estudio comparativo de la pérdida de vitamina C en Chalarina (*Casimiroa edulis*) por cuatro métodos de deshidratación. *Scientia Agropecuaria*, 1(1), 75-80.
- Castelo, D. (2017). *Influencia de la deshidratación osmótica como pretratamiento para deshidratación por convección con aire caliente en mango (Manguifera indica)*. (Ingeniero Agroindustrial), Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta-Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/2282/1/ULEAM-AGROIN-0054.pdf>
- Castillo-Zamudio, R., Vidaña-Reyes, T., Ávalos de la Cruz, D., Cabal-Prieto, A., Salgado-Cervantes, M., & Ozuna-López, C. (2017). Uso combinado de tecnologías de secado asistidas por ultrasonidos de potencia para la conservación de Carambola (*Averrhoa carambola* L.).
- Catucumbamba, A. (2020). *Propuesta de creación de una microempresa dedicada a la producción y comercialización de un snack de frutas deshidratadas en la ciudad de Cayambe*. (Ingeniera Comercial), Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11412/2/02%20ICO%20772%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Chandra, A., Kumar, S., Tarafdar, A., & Nema, P. (2021). Ultrasonic and osmotic pretreatments followed by convective and vacuum drying of papaya slices. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 101(6), 2264-2272.
- Chen, K., Gao, L., Li, Q., Li, H.-R., & Zhang, Y. (2017). Effects of CO₂ pretreatment on the volatile compounds of dried Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Miller). *Food Science Technology*, 37, 578-584.
- Chong, C., Figiel, A., Law, C., & Wojdyło, A. (2014). Combined drying of apple cubes by using of heat pump, vacuum-microwave, and intermittent techniques. *Food and Bioprocess Technology*, 7(4), 975-989. doi:10.1007/s11947-013-1123-7
- Ciurzyńska, A., & Lenart, A. (2009). The influence of temperature on rehydration and sorption properties of freeze-dried strawberries. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 1.

- Clark, S., Jung, S., & Lamsal, B. (2014). Dehydration. In *Food Processing : Principles and Applications* (pp. 61-78). New York, United Kingdom: John Wiley & Sons, Incorporated.
- Conde, C., Alarcon, M., Mendez, G., Pineda, Y., Nieto, J., & Marmolejo, L. (2020). Deshidratación osmótica método alternativo de conservación de alimentos. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 17(2), 101-114.
- Contreras, C. (2008). *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas*. (Tecnología de Alimentos), Universitat Politècnica de València, Valencia. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1932/tesisUPV2345.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cortijo-Mendoza, P., Haro, R., Cerna, M., Arana-Fu, L., Gutiérrez, A., Espinoza, M., & Sánchez-González, J. (2017). Efecto de los métodos escaldado y congelación previos a la liofilización sobre la retención de vitamina C en Aguaymanto (*Physalis peruviana* L.). *Agroindustrial Science*, 7(1), 33-40.
- Cruz, A., Ramírez, A., García, V., & Reyes, Y. (2019). Evaluación del efecto de secado con microondas en los compuestos bioactivos del bagazo de Marañón. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(2), 202-211.
- Curubeto, N. (2016). *Desarrollo de un film bioplástico comestible para reducir el pardeamiento enzimático en frutas deshidratadas*. (Ingeniero en Alimentos), Universidad Argentina de la Empresa, Argentina. Recuperado de <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/7563/TESIS%20-%20CURUBETO.pdf?sequence=3>
- De la Vega, J., Cañarejo, M., Cabascango, O., & Lara, M. (2019). Deshidratado de *Physalis peruviana* L. en dos estados de madurez y su efecto sobre el contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante, carotenos, color y ácido ascórbico. *Información tecnológica*, 30(5), 91-100.
- Del Valle, C., & Mina, L. (2021). *Análisis sensorial en frutas deshidratadas*. (Ingeniero en Alimentos), Universidad del Valle, Cali-Colombia. Recuperado de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/21330/Analisis-Sensorial-Frutas-Valle-Cristhian-3753-V181.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Deng, L.-Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X.-H., Wang, J., Zheng, Z.-A., . . . Xiao, H.-W. (2019). Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes – a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(9), 1408-1432. doi:10.1080/10408398.2017.1409192
- Diaz, L. (2017). *Efecto de la incorporación de trehalosa mediante un tratamiento osmótico en las características fisicoquímicas y sensoriales de banana liofilizada*. (Magíster en en Bromatología y Tecnología de la Industrialización de Alimentos), Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires. Recuperado de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n6529_DiazBarrios.pdf
- Escobar, B. (2020). *Análisis de las técnicas de deshidratación para manzana (Golden delicious) y mora (Rubus glaucus) producidas en el cantón Cevallos*. (Ingeniero Agroindustrial), Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7201/2/Tesis%20final%20.%20Sr%20Escobar.pdf>
- Escobar Vega, B. D. (2020). *Análisis de las técnicas de deshidratación para manzana (Golden delicious) y mora (Rubus glaucus) producidas en el Cantón Cevallos*. (Ingeniero Agroindustrial), Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba - Ecuador. Recuperado de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7201/2/Tesis%20final%20.%20Sr%20Escobar.pdf>
- Espinosa, E. (2019). *Desarrollo de un secador solar, para mango Ataulfo en el Ejido San Miguel de Tonalá, Chiapas*. (Ingeniera en Energías Renovables), Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez-Chiapas. Recuperado de <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/2283>
- Espinoza, J. (2016). Innovación en el deshidratado solar. *Revista Chilena de Ingeniería*, 24(Especial Arica).
- Estaba, A., Coa, G., Natera, J., & Calcaño, A. (2006). Efecto del cloruro de calcio sobre la deshidratación osmótica a vacío en mitades de duraznos (*Prunus persica*) en soluciones de sacarosa. *Revista Científica UDO Agrícola*, 6(1), 121-127.
- Estrada, H., Restrepo, C., Saumett, H., & Pérez, L. (2018). Deshidratación osmótica y secado por aire caliente en mango, guayaba y limón para la obtención de ingredientes funcionales. *Información tecnológica*, 29(3), 197-204.

- Farooq, M., Azadfar, E., Bahrami, Z., Sharifi, M., Shakoor, A., Ahmed, S., . . . Ilyas, N. (2021). Optimization of drying process of rambutan by combined method of osmosis ultrasound and complementary drying of hot air. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 34(1), 218-226.
- Feicán-Mejía, C., Encalada-Alvarado, C., & Becerril-Román, A. (2016). Agronomic description of the tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) crop. *Agroproductividad*, 9(8), 78-86.
- Fito, P., Andres, A., & Barat, J. (2020). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Galaviz, J. (2012). Estrategia tecnológica sustentable para deshidratar frutas, verduras y legumbres. In (pp. 15-16): Palibrio.
- Gamarra, D., & Rodriguez, J. (2020). *Influencia del liofilizado y deshidratación al vacío de zumo y pulpa de noni (*Morinda citrifolia* L.) en la disminución del olor*. (Ingeniero en Industria Alimentarias), Universidad Nacional del Centro de Perú, Huancayo-Perú. Recuperado de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5993/T010_71450217_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Garcet, Y., Velázquez, R., Cedeño, L., & Menéndez, M. (2020). Incidencia de los rangos de temperaturas en intervalos de 10°C en el proceso de oxidación del ácido ascórbico en zumos de citrus aurantifolia. *Revista Científica Multidisciplinaria*, 4(1), 29-42.
- García, A., & Ruales, J. (2018). Study the effect of pre-treatment of drying ‘mortiño’ (*Vaccinium floribundum* Kunth) with reference to drying rate and total content of soluble polyphenols and anthocyanins. *Revista Politécnica*, 40(2), 47-57.
- García, F., Bejarano, D., Paredes, L., Vega, R., & Encinas, J. (2018). La deshidratación osmótica mejora la calidad de Ananas comosus deshidratada. *Scientia Agropecuaria*, 9(3), 349-357.
- Garduño-García, Á., López-Cruz, I. L., & Ruiz-García, A. (2017). Mathematical modeling of greenhouse solar dryers with natural and forced convection for agricultural products: state of the art. *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 9(1), 19-36.
- Geankoplis, C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. México: Continental S.A.

- Germer, S., Luz, G., Silva, L., Silva, M., Morgano, M., & Silveira, N. (2017). Fruit dragée formulated with reused solution from pineapple osmotic dehydration. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 52, 806-813.
- Grajales-Agudelo, L. M., Cardona-Perdomo, W. A., & Orrego-Alzate, C. E. (2005). Liofilización de carambola (*Averrhoa carambola* L.) osmodeshidratada. *Ingeniería y competitividad*, 7(2), 19-26.
- Harnkarnsujarit, N., Kawai, K., Watanabe, M., & Suzuki, T. (2016). Effects of Freezing on Microstructure and Rehydration Properties of Freeze-dried Soybean Curd. *Journal of Food Engineering*, 184. doi:10.1016/j.jfoodeng.2016.03.014
- Hegde, V., Hosur, V., Rathod, S., Harsoor, P., & Narayana, K. B. (2015). Design, fabrication and performance evaluation of solar dryer for banana. *Energy, Sustainability and Society*, 5(1), 23. doi:10.1186/s13705-015-0052-x
- Hincapié, M. A., & Zapata, J. E. (2019). Estudio de la cinética de deshidratación de Uchuva (*Physalis peruviana* L) en un secador de lecho fluidizado. *Información tecnológica*, 30(2), 115-124.
- Huamán, K., & Ninahuanca, B. (2017). *Evaluación de la pérdida de β -carotenos en la osmodeshidratación de aguaymanto (*Physalis peruviana* L) con una solución de stevia*. (Ingeniero Químico Industrial), Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo-Perú. Recuperado de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3796/Huaman%20Maravi-Nincahuanca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hulse, J. (2006). Biotecnologías: historia pasada, situación presente y perspectivas futuras. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 19(3), 317-340.
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2008). Deshidratación. In *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Julca, L., & Vásquez, F. (2018). *Deshidratación osmótica de Mamey (*Mammea americana* L.) y su efecto en las características fisicoquímicas y organolépticas*. (Ingeniero en Industrias Agroalimentarias), Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque-Perú. Recuperado de <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/2099/BC-TES-TMP-967.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Liu, Z.-L., Staniszevska, I., Zielinska, D., Zhou, Y.-H., Nowak, K. W., Xiao, H.-W., . . . Zielinska, M. (2020). Combined hot air and microwave-vacuum drying of Cranberries: Effects of pretreatments and pulsed vacuum osmotic dehydration on drying kinetics and physicochemical properties. *Food and Bioprocess Technology*, 13(10), 1848-1856. doi:10.1007/s11947-020-02507-9
- Liu, Z., Song, Y., Guo, Y., Wang, H., & Liu, J. (2016). Optimization of pulsed electric field pretreatment parameters for preserving the quality of *Raphanus sativus*. *Drying Technology*, 34(6), 692-702.
- López, G., León, L., & Espejel, J. (2019). El camote deshidratado como una nueva alternativa de consumo saludable para los sonorenses. *Revista Inclusiones*, 6(Especial), 50-65.
- López, J. (2021). *Eficacia de tres métodos de deshidratación en mandarina (Poka) para la obtención de snacks deshidratados*. (Ingeniero Agrónomo), Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil-Ecuador. Recuperado de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/LOPEZ%20CEDE%C3%91O%20JUAN%20ALBERTO.pdf>
- Manzoor, A., Khan, M., Mujeebu, M., & Shiekh, R. (2021). Comparative study of microwave assisted and conventional osmotic dehydration of apple cubes at a constant temperature. *Journal of Agriculture and Food Research* 100176. doi:10.1016/j.jafr.2021.100176
- Martin-Esparza, E., & Gonzalez-Martinez, C. (2008a). Osmotic Dehydration–Vacuum Impregnation of Fruit. In *Experiments in Unit Operations and Processing of Foods* (pp. 47-51): Springer.
- Martin-Esparza, E., & Gonzalez-Martinez, C. (2008b). Osmotic dehydration – vacuum impregnation of fruit. In M. Vieira & P. Ho (Eds.), *Experiments in Unit Operations and Processing of Foods* (pp. 47-51). Boston, MA: Springer US.
- Mendoza, J., Insuasti, R., Barrera, O., & Navarro, M. (2020). Diseño y simulación de un deshidratador mixto indirecto de frutas. *VI Congreso Internacional De La Ciencia, Tecnología, Emprendimiento E Innovación 2019*, 107–124. doi:10.18502/keg.v5i2.6227
- Mestas, M., & Quispe, A. (2016). *Optimización de los parámetros de la deshidratación osmótica y rehidratación de la cocona (Solanum sessiliflorum dunal) y de tomate de árbol (Solanum betaceum)*. (Ingeniero Agroindustrial), Universidad Nacional del

Antiplano, Puno-Perú. Recuperado de
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3291/Mestas_Jaila_Mayomi_Quispe_Quispe_Arnold_Javier.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Miguel-Olivares, J. L. (2018). Efecto del secado a vacío asistido con ultrasonido en la pérdida de humedad, color y dureza en cubos de manzana (Red delicious). In A. C. Sociedad Química de México (Ed.), (Vol. 26). México.
- Morante, J., Agnieszka-Obrebska, A., Bru-Martínez, R., Carranza, M., Pico, R., & Nieto, E. (2014). Distribución, localización e inhibidores de las polifenol oxidasas en frutos y vegetales usados como alimento. *Ciencia y Tecnología*, 7(1), 23-31.
- Moreno, Á., Hernández, R., & Ballesteros, I. (2017). Secado industrial con energía microondas. In *Aplicaciones Industriales del Calentamiento con Energía Microondas* (1st ed., pp. 85-118). Latacunga-Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Mosquera-Vivas, E., Ayala-Aponte, A., & Serna-Cock, L. (2019). Ultrasonido y deshidratación osmótica como pretratamientos a la liofilización de melón (*Cucumis melo* L.). *Información tecnológica*, 30(3), 179-188.
- Mosquera-Vivas, E. S., Ayala-Aponte, A. A., & Serna-Cock, L. (2019). Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón (*Cucumis melo* L.). *Información tecnológica*, 30(3), 179-188.
- Nowacka, M., Wiktor, A., Anuszevska, A., Dadan, M., Rybak, K., & Witrowa-Rajchert, D. (2019). The application of unconventional technologies as pulsed electric field, ultrasound and microwave-vacuum drying in the production of dried cranberry snacks. *Ultrasonics Sonochemistry*, 56, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.03.023>
- Nursten, H. (2005). *The maillard reaction : chemistry, biochemistry and implications*. Cambridge, United Kingdom: Royal Society of Chemistry.
- Ortega-Villalba, K. J., Vélez-Pasos, C. A., & Ayala-Aponte, A. A. (2016). Cinética de deshidratación osmótica de melón (*Cucumis melo*) y efecto sobre su calidad. *Vitae*, 23, S208.
- Ozdemir, Y., Ozturk, A., & Tüfekçi, S. (2016). Effect of two dipping pretreatment on drying kinetics of golden berry (*Physalis peruviana* L.). *African journal of agricultural research*, 11(1), 40-47.

- Padilla-Frías, K. A., Granados-Conde, C., Leon-Mendez, G., Pineda, Y. A., & Torrenegra-Alarcon, M. (2020). Evaluación de la influencia de la temperatura en procesos de secado. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 16(1), 98-110.
- Peñañiel, Y. (2017). *Evaluación del efecto del método químico (eritorbato de sodio), físico (escaldado) y el proceso de secado sobre el pardeamiento enzimático y no enzimático de oritos musa acuminata AA rebanados*. (Ingeniera Agroindustrial), Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6537/1/03%20EIA%20438%20TRA%20BAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Pérez, R., & Supho, L. (2019). *Evaluación de la cinética de la deshidratación osmótica de la guayaba (Psidium guajava L.) para alargar su vida útil y mejorar las características sensoriales*. (Ingeniero Químico), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa-Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10783/IQpegarm%26sumeld.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pucuhuayla, E., & Valdivieso, T. (2018). *Efecto del osmodeshidratado y secado por aire caliente sobre la capacidad antioxidante, β -carotenos, cinética y rehidratación en el liofilizado de carambola*. (Ingeniera en Industrias Alimentarias), Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo-Perú. Recuperado de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4378/Pucuhuayla%20C%20-%20Valdivieso%20T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quiceno, J., Barrera, E., & Estrada, E. (2019). Apuntes sobre deshidratación aplicable a frutas y hortalizas. In I. A. y I. A. SENA. Centro de la Innovación (Ed.), (Primera ed.). Rionegro-Antioquia.
- Quilca, V. (2016). *Secador de bandejas para hierbas aromáticas dedicado a la microindustria*. (Ingeniera en Mecatrónica), Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5516/1/04%20MEC%20126%20TRA%20BAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Quintero, A., Sanabria, N., & Pérez, L. (2019). Caracterización de cubos de guayaba (*Psidium guajava* L.) osmodeshidratados para la industria de alimentos. *Cien. Tecn. Agrollanía*, 17, 1-9.

- Rahaman, A., Siddeeg, A., Manzoor, M. F., Zeng, X.-A., Ali, S., Baloch, Z., . . . Wen, Q.-H. (2019). Impact of pulsed electric field treatment on drying kinetics, mass transfer, colour parameters and microstructure of plum. *Journal of food science technology*, 56(5), 2670-2678.
- Rivera, Y., Guevara, B., & Díaz, C. (2019). Evaluación fisicoquímica, nutricional y microbiológica en banano deshidratado por liofilización, ventana de refractancia y convección forzada. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 6(1), 95-103.
- Rodriguez, A., Bruno, E., Paola, C., Campañone, L., & Mascheroni, R. (2018). Experimental study of dehydration processes of raspberries (*Rubus Idaeus*) with microwave and solar drying. *Food Science Technology*, 39, 336-343.
- Rodríguez, Ó., Gomes, W., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2017). Effect of acoustically assisted treatments on vitamins, antioxidant activity, organic acids and drying kinetics of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 35, 92-102.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.09.006>
- Rodríguez, P. (2018). *Efecto de la radiación solar en el proceso de secado de las uvas con horno solar*. (Ingeniero en Alimentos), Universitat Politècnica de València, Valencia. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/107219/RODR%20GUEZ%20Efecto%20de%20la%20radiaci%20solar%20en%20el%20proceso%20de%20cocci%20secado%20de%20las%20uvas%20con%20horno%20...pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero, L., Ysaías, A., Terrel, A., Mayorga, D., Huayllani, J., & Soriano, E. M. (2020). Efecto de dos metodologías de secado de rodajas de piña (*Ananas comosus*) sobre el contenido nutricional. *LIMENTECH, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 18(2), 5-24.
- Rubiano, E., Sánchez, C., & Gómez, J. (2016). Efecto de dos pretratamientos para evitar el pardeamiento de secado convectivo de manzana. *Agronomía Colombiana*, 34(1Supl), S329-S331.
- Sagastibelza, B. (2018). *Secado asistido por microondas aplicado en frutas: comparativa frente al secado convencional por aire caliente*. (Ingeniero Agrónomo), Universidad Pública de Navarra, Navarra-España. Recuperado de <https://academica->

e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/29030/TFG_Sagastibelza_Blanca.pdf?sequence=1
&isAllowed=y

- Samaniego, M. (2019). *Evaluación de maceración carbónica y adición de levaduras (Saccharomyces cerevisiae) durante el lavado de café Geisha (Coffea arabica)*. (Ingeniero en Agroindustria Alimentaria), Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6507/1/AGI-2019-T054.pdf>
- Santacatalina, J., Contreras, M., Simal, S., Cárcel, J., & Garcia-Perez, J. (2016). Impact of applied ultrasonic power on the low temperature drying of apple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 28, 100-109. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.06.027>
- Serpa, A. M., Castrillón Martínez, D. C., Vásquez Osorio, D. C., & Hincapié Llanos, G. A. (2015). Efecto de la liofilización sobre las propiedades técnico funcionales de la fibra dietaria y el contenido de vitamina C presentes en la guayaba pera (*Psidium gGuajava L.*). *Revista Investigaciones Aplicadas*.
- Sharabiani, V., Kaveh, M., Abdi, R., Szymanek, M., & Tanaś, W. (2021). Estimation of moisture ratio for apple drying by convective and microwave methods using artificial neural network modeling. *Scientific Reports*, 11(1), 1-12. doi:10.1038/s41598-021-88270-z
- Shishegarha, F., Makhlof, J., & Ratti, C. (2002). Freeze-drying characteristics of strawberries. *Drying Technology*, 20(1), 131-145.
- Shuen, G., Yi, L., Ying, T., Von, G., Yusof, Y., & Phing, P. (2021). Effects of drying methods on the physicochemical properties and antioxidant capacity of Kuini powder. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24.
- Simpalo, W., Miñan, G., Galarreta, G., & Castillo, W. (2020). *Caracterización fisicoquímica de un fruto silvestre de cactaceae (Haageocereus pseudomelanostele). Deshidratado por diferentes métodos para la conservación de su contenido de vitamina C*. Paper presented at the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Engineering, Integration, and Alliances for a Sustainable Development” “Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on a Knowledge-Based Economy”, Virtual Edition. <http://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/meta/FP114.html>

- Sobalvarro, J., Rodríguez, A., Chavarría, N., & Dávila, K. (2017). Validación de prototipo secador solar indirecto para el deshidratado de papaya hawaiana (variedad Solo sunrise). *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 7(1), 26-34.
- Surco-Laos, F., Tipiana, R., Torres, Y., Valle, M., & Panay, J. (2017). Efectos de liofilización sobre composición química y capacidad antioxidante en pulpa de cuatro variedades de *Mangifera indica*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(4), 412-419.
- Taffur, M., & Zambrano, J. (2019). *Deshidratación osmótica con dos agentes edulcorantes para la conservación de la uvilla (Physalis peruviana L.)*. (Ingeniero Agroindustrial), Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Manabí-Ecuador. Recuperado de <http://190.15.136.145/bitstream/42000/1135/1/TTAI26.pdf>
- Tenorio-Reyes, S., Robles-Ramírez, J. D., Carrera-Arellano, E. U., García-González, J. M., & Carranza-Concha, J. J. (2019). Deshidratación de pera en forma de rodaja mediante radiación solar en un secador directo. *Journal of Energy, Engineering Optimization Sustainability*, 3(1), 1-10.
- Torrens, F. (2019). *Drying process intensification by using freezing pre-treatments and ultrasound application at high and low temperature*. Universitat de les Illes Balears, Recuperado de https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/150355/Vallespir_Torrens_Francisca_Maria.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tsotsas, E., Mujumdar, A. S., & Mujumdar, A. (2011). Energy considerations in osmotic dehydration. In *Modern Drying Technology, Volume 4 : Energy Savings* (Vol. 4, pp. 99-115). Hoboken, Germany: John Wiley & Sons, Incorporated.
- Valdez, L. (2016). *Evaluación de cuatro métodos de deshidratado de durazno (Prunus persica L.) con la aplicación de dos antioxidantes en el municipio de Luribay del departamento de La Paz*. (Ingeniero Agrónomo), Universidad Mayor de San Andrés, La Paz-Bolivia. Recuperado de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/10508/T-2342.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valencia, A. (2020). *Efecto de la deshidratación parcial a vacío y acidificación de pulpa de lúcuma (Pouteria lucuma) sobre sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales durante almacenamiento*. (Ingeniero en Industrias Agroalimentarias), Universidad San Ignacio de Loyola, Lima-Perú. Recuperado de http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/10586/1/2020_Valencia%20Vasquez.PDF

- Valencia, M. (2018). *Efecto de la miel en la deshidratación de mango (Mangifera indica) variedad Tommy atkins*. (Ingeniero en Agroindustria Alimentaria), Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6296/1/AGI-2018-T058.pdf>
- Vallespir, F., Rodríguez, Ó., Eim, V. S., Rosselló, C., & Simal, S. (2019). Effects of freezing treatments before convective drying on quality parameters: Vegetables with different microstructures. *Journal of Food Engineering*, 249, 15-24.
- Vélez-Mera, E., Sablón-Cossío, N., & Pita-Cantos, L. (2021). Optimización del deshidratado en cítricos mediante el proceso de secado indirecto al vacío. *Ingeniería Industrial*, 42(3), 1-11.
- Wais, N. (2011). *Secado combinado de frutas: Deshidratación osmótica y microondas*. (Doctor en Ingeniería), Universidad Nacional de La Plata, La Plata. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/296369239.pdf>
- Wojdyło, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P., & Oszmiański, J. (2014). Effect of convective and vacuum-microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries. *Food and Bioprocess Technology*, 7(3), 829-841. doi:10.1007/s11947-013-1130-8
- Yumbillo, B. (2020). *Diseño de un prototipo de secador solar para frutilla (Fragaria vesca) utilizando modelos matemáticos*. (Ingeniero Industrial), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13792/1/85T00568.pdf>
- Zielinska, M., Zielinska, D., & Markowski, M. (2018). The effect of microwave-vacuum pretreatment on the drying kinetics, color and the content of bioactive compounds in osmo-microwave-vacuum dried cranberries (*Vaccinium macrocarpon*). *Food and Bioprocess Technology*, 11(3), 585-602. doi:10.1007/s11947-017-2034-9