

2021

Tecnologías de post-cosecha para mitigar la pérdida de productos frutihortícolas



Autores: M.E. Néstor Ortiz Rodríguez.

Breve descripción: Este reporte pretende brindar información respecto a los procesos y tecnologías que tienen potencial para ayudar a mitigar la pérdida post-cosecha de productos agrícolas en la región de Zacatecas y además generar valor agregado a los consumidores finales, mediante el uso de energía solar.

12-11-2021

Tabla de contenido

Introducción.....	3
Procesos y tecnologías post-cosecha en productos frescos	4
Manejo pre-cosecha	4
Etapas post-cosecha que influyen en la calidad	5
Cosecha.....	5
Embalaje	6
Transporte	6
Almacenamiento.....	7
Distribución minorista.....	8
Operaciones básicas en la post-cosecha en fresco	9
Procesos comunes de envasado.....	14
Cadena de frío.....	16
Gestión mejorada de la humedad para evitar pérdidas	18
Combinación adecuada de temperatura y humedad.....	18
Refrigeración solar	18
Sistema de refrigeración fotovoltaica.....	18
Sistema de refrigeración solares térmicos	19
Procesos y tecnologías post-cosecha para productos procesados	21
Factores responsables del deterioro de frutas y verduras	21
Principios de los métodos convencionales de conservación	21
Refrigeración y congelación	22
Enfriamiento	22
Congelación	23
Fermentación.....	24
Elaboración de pulpa y jugos	25
Extracción de pulpa/jugo.....	25
Prensas	26
Selección del proceso de extracción.....	26
Uso de auxiliares de filtración.....	26
Fabricación de mermeladas y jaleas	26
Adición de ingredientes.....	27

Concentración y envasado.....	28
Tratamientos térmicos aplicados a productos de frutas.....	29
Tipos de procesos térmicos	30
Procesos no térmicos aplicados al procesamiento	30
Alta presión.....	31
Campos eléctricos de pulso.....	31
La deshidratación.....	31
Proceso de deshidratación	32
Principios de secado	32
Equipo principal	33
Deshidratación osmótica	34
Secado por atomización por atomización.....	35
Deshidratación en secadores de tambor	35
Liofilización	35
Discusiones.....	36
Conclusión	39
Referencias	40

Introducción

Las frutas y verduras proporcionan a las personas una variedad de vitaminas esenciales, antioxidantes y fibra dietética, que son beneficiosos para muchos aspectos de la salud (Prasanna, Prabha, y Tharanathan 2007). Sin embargo, los productos frutihortícolas frescos son órganos vivos que continúan respirando, madurando, envejeciendo y deteriorándose tan pronto como se cosechan. La mayoría de los frutos son muy perecederos debido a sus características formas, estructura, alto contenido de agua, apariencia, características fisiológicas y condiciones de crecimiento. Debido a estas características, se ha estimado que las pérdidas post-cosecha de estos frutos son muy elevadas, especialmente en los países en desarrollo, y su vida post-cosecha puede ser muy corta (algunos solo unos días). El término post-cosecha puede entenderse como el lapso o periodo que transcurre desde el momento mismo en que el producto es retirado de su fuente natural y acondicionado en la finca hasta el momento en que es consumido bajo su forma original o sometido a la preparación culinaria o al procesamiento y transformación industrial.

Los factores biológicos involucrados en el deterioro de la calidad de los productos frutihortícolas frescos incluyen las tasas de respiración, producción de etileno y transpiración de etileno. Varios trastornos fisiológicos también reducen la calidad de los productos en post-cosecha. Estos son el resultado de las respuestas de los productos a diversas tensiones ambientales y físicas, incluidas la temperatura (el factor más significativo), la humedad relativa, el etileno, la composición atmosférica (concentraciones de oxígeno, dióxido de carbono y otros gases) y la luz. Por último, otros factores biológicos como las enfermedades y las plagas de insectos pueden reducir la calidad (E. M. Yahia, De Jesus Ornelas-Paz, y Elansari 2011a).

Las pérdidas y el desperdicio post-cosecha en la cadena de suministro de frutas y verduras son tan altos como 13–38% antes de que el producto llegue incluso al consumidor (Gustavsson, Cederberg, y Sonesson 2013). La industria de producción de frutas y hortalizas se enfrenta al desafío de minimizar las pérdidas post-cosecha (Wang et al. 2017). Por lo tanto, se necesitan esfuerzos de investigación para prolongar la vida útil de las frutas y hortalizas y, posteriormente, reducir las pérdidas post-cosecha.

Existen algunas alternativas para mitigar las pérdidas post-cosecha que se pueden clasificar según el mercado de consumo: fresco o procesado. Un alimento fresco es aquel que luego de un determinado lapso de tiempo, bastante corto, se daña. Los alimentos frescos se deterioran rápidamente y con el tiempo van perdiendo sus propiedades, por otro lado, los alimentos procesados son aquellos que han soportado cambios o han pasado por algún grado de procesamiento industrial antes de llegar a nuestra mesa para que los podamos consumir.

Procesos y tecnologías post-cosecha en productos frescos

El manejo post-cosecha son un conjunto de operaciones y procedimientos tecnológicos destinados no solo a movilizar el producto cosechado desde el productor hasta el comprador, sobre todo proteger su integridad y preservar su calidad de acuerdo con su propio comportamiento y características físicas, químicas y biológicas.

Las operaciones básicas se realizan con el fin de generar en el producto una mejor apariencia, sin embargo, es importante tener en cuenta que para garantizar calidad y durabilidad a través del resto de la cadena productiva donde se requiere de almacenamiento y transporte, es importante que los productos se manejen con procesos ya sean físicos como la refrigeración o aplicación de sustancias de síntesis química (fungicidas) o natural (ceras naturales).

Manejo pre-cosecha

El manejo post-cosecha no es la única etapa que afecta la vida de anaquel de frutas y verduras, también lo es el manejo pre-cosecha y durante la cosecha, ya que se debe tener cuidado en la manipulación de los cultivos y estar pendiente de otros factores agrupados en: ambientales y del cultivo.

Entre los factores ambientales que influyen en la pre-cosecha se encuentran la *temperatura* debido a que entre más elevada sea durante el periodo de crecimiento, se acelera el tiempo a cosecha; *humedad* ambiental alta favorece podredumbres en la superficie de los frutos y *vientos* pueden generar rasgaduras en frutos y dañar las hojas de las hortalizas.

Los factores del cultivo se basan principalmente en el adecuado manejo agrícola de los cultivos. Entre ellos se encuentran la *nutrición* que afecta la calidad interna del producto, por ejemplo, alto contenido de nitrógeno reduce la calidad de los frutos e incrementa el contenido de agua en ellos; el *riego* influye en el tamaño del fruto; la poda y el deshierbe actúan sobre el tamaño del fruto, pero pueden disminuir la acidez y la época de cosecha afecta el momento de madurez del fruto, debido a que está estrechamente relacionada a la temperatura del crecimiento.

Los productos frutihortícolas son propensos a varias enfermedades y, por lo tanto, los tratamientos de control de enfermedades son importantes para reducir la descomposición y el deterioro. Los tratamientos previos a la cosecha y los métodos de control de enfermedades son importantes. Estos incluyen el uso de plántulas sanas, así como prácticas adecuadas de saneamiento en el campo. Los pesticidas todavía se usan para controlar la descomposición antes y después de la cosecha, pero los tratamientos físicos, como los tratamientos térmicos post-cosecha, son efectivos y más seguros para los consumidores. También deben usarse de acuerdo con la legislación pertinente.

Otro factor para considerar es la elección del material genético, principalmente conocer si son resistentes a las condiciones de la zona en que se establecerá y también conocer si el fruto es climatérico (la maduración continua posteriormente a su recolección) o no climatérico (maduran solo al estar en la planta).

Etapas post-cosecha que influyen en la calidad

El término 'calidad' está asociado con el grado de excelencia de un producto. La calidad, el valor y la aceptación generales de los productos frutihortícolas dependen de una combinación de atributos complejos como color, apariencia, sabor, textura, características nutricionales y seguridad (Hertog 2003).

El color es probablemente el atributo de apariencia más importante, provocado por varios pigmentos, incluidos carotenoides, betalainas, flavonoides (incluidas las antocianinas) y clorofila. El color de la fruta influye en la aceptación del consumidor, afecta la percepción de dulzura y sabor e incluso puede evocar sentimientos emocionales en los seres humanos (Ornelas-Paz, Yahia, y Gardea 2008).

La textura se define como el conjunto de propiedades mecánicas de un alimento que determinan las sensaciones que sienten los humanos cuando ingieren alimentos. La textura de los frutos se ve afectada por la anatomía celular, el contenido de agua y la composición de las paredes celulares. Estas variables se ven muy afectadas por la maduración. La firmeza es el atributo de textura más importante para la calidad de la fruta y tiende a disminuir durante el almacenamiento y la comercialización.

La seguridad es otro componente importante de la calidad de la fruta. El valor y la aceptación de las frutas dependen de sus niveles de residuos de plaguicidas y carga de microorganismos patógenos. El cultivo orgánico confiere valor y calidad a las frutas debido a la potencial falta de residuos de agroquímicos. Un número cada vez mayor de países importadores exige que los países exportadores adopten procedimientos de inspección y examen acordado y sistemas de seguridad alimentaria prescritos, junto con la certificación por parte de los gobiernos de los países exportadores de que los productos cumplen con los requisitos de importación obligatorios. Los procedimientos son cada vez más restrictivos, lo que implica que la cadena de suministro debe ser receptiva y flexible para manejar las restricciones impuestas.

Cosecha

Por definición, el manejo post-cosecha comienza en la cosecha. La etapa de madurez en la cosecha de las frutas y verduras influye en la tasa de maduración y la vida de almacenamiento. La recolección en el momento ideal es crucial para el desarrollo de la calidad después de la recolección y para lograr la vida post-cosecha más larga. Las frutas recolectadas antes de la etapa apropiada de maduración y maduración pueden no alcanzar una calidad óptima después de la cosecha, pueden volverse más sensibles a ciertos trastornos (como lesiones por frío) o incluso puede que nunca maduren. Las frutas recolectadas después de la etapa óptima pueden no tener una vida post-cosecha suficientemente larga.

La determinación de la fecha de cosecha se basa en el rendimiento, la apariencia visual, los precios anticipados, las pérdidas estimadas por sacrificio para lograr la calidad del envío y las condiciones del campo. La recolección se realiza a mano, mediante dispositivos de recolección asistidos mecánicamente o mediante cosechadoras mecánicas. La robótica ofrece el potencial a largo plazo de combinar la eficiencia de las máquinas con la selectividad de los humanos. Los factores durante las operaciones de cosecha que pueden influir en la calidad post-cosecha incluyen el grado de severidad del daño mecánico inducido por la máquina o el ser humano, la precisión en la selección de frutas aceptables en lugar de inaceptables, la hora del día de la cosecha y la temperatura de la pulpa en la cosecha (Prusky 2011). Las lesiones mecánicas durante la recolección y la manipulación subsiguiente pueden provocar defectos y facilitar la invasión de microorganismo patógeno. La situación puede agravarse por inclusión de suciedad

procedente de campo de cultivo. Durante el almacenamiento temporal en la propia plantación, el producto puede recalentarse y deteriorarse rápidamente. La comercialización puede verse comprometida, si no se separan los ejemplares poco o excesivamente maduros, de pequeño calibre, de forma defectuosa, con defecto superficiales, etc (Díaz Diez y Bernal Estrada 2008). El alto costo de la mano de obra o la falta de disponibilidad de mano de obra en algunas regiones pueden promover más investigación y más interés en la recolección mecánica.

Embalaje

La colocación de la cosecha cosechada en contenedores de transporte es una de las muchas actividades descritas como operaciones de empaque. El empaque puede ocurrir directamente en el campo o en instalaciones especialmente diseñadas llamadas empacadoras. La mayoría de las operaciones de empaque incluyen un medio para eliminar objetos extraños, clasificar para eliminar artículos de calidad inferior, clasificar en categorías de tamaño seleccionadas, inspeccionar muestras para garantizar que el lote de frutas o verduras cumpla con un estándar específico de calidad y empacar en un contenedor de envío. Algunos productos se lavan para eliminar la suciedad y disminuir la carga microbiana. Muchos productos se enfrían previamente para eliminar el calor del campo y ralentizar los procesos fisiológicos. Algunas funciones especiales, como la eliminación de tricomas (pelusa), también forman parte de las operaciones de empaque. Cada operación está diseñada para lograr un producto de calidad uniforme, pero cada paso de manipulación brinda la oportunidad de inducir daños o enfermedades.

Transporte

La amplia disponibilidad de frutas y verduras frescas durante todo el año y la disponibilidad de artículos para la venta donde no se pueden cultivar es un triunfo de los sistemas de transporte modernos. El paso de transporte principal lleva el cultivo desde la región de cultivo a la región de venta. Este viaje puede ser entre continentes en camión o tren, en el extranjero por barco o avión, o al otro lado de la frontera del condado en una camioneta. Minimizar los daños mecánicos, mantener las temperaturas adecuadas y garantizar la compatibilidad de los productos básicos son las consideraciones más importantes en las operaciones de transporte. El daño mecánico ocurre durante las operaciones de carga, descarga y apilado, o por golpes y vibraciones durante el transporte. La construcción del contenedor de envío, la alineación adecuada de los orificios de ventilación en los contenedores y el uso de patrones de apilamiento aprobado y apropiado aseguran un flujo de aire adecuado. También se debe prestar atención a la compatibilidad de los productos dentro de una carga. Los productos sensibles al etileno, como la lechuga, no deben enviarse con generadores de etileno como las manzanas.

Otros pasos de transporte también son importantes en el mantenimiento de la calidad, por ejemplo, desde el campo hasta la instalación de empaque y desde el punto de distribución mayorista hasta el punto de venta minorista. Los principios que se aplican a los envíos de larga distancia también se aplican a los de corta distancia, pero las prácticas de manipulación tienden a recibir menos atención cuando la distancia de envío es corta. Los campos y los caminos rurales suelen tener más baches que las carreteras; por lo tanto, los vehículos que transportan la cosecha cosechada del campo a la empacadora generalmente no son tan capaces de prevenir daños por golpes y vibraciones como lo son las plataformas de tractor-remolque. El retraso del enfriamiento de un cultivo se ve afectado por el tiempo requerido para cargar un vehículo en el campo, la distancia del campo a la empacadora, la velocidad del vehículo y la cantidad de vehículos que esperan ser descargados en la empacadora. El viaje desde el almacén mayorista hasta el punto de venta minorista reúne una amplia gama de productos organizados por

tienda. Los daños mecánicos se deben al desplazamiento de cargas durante el transporte o al aplastamiento de las cajas de cartón debido al apilamiento no convencional de contenedores de diferentes tamaños, formas y resistencias. Las pérdidas de calidad también pueden resultar de un control inadecuado de la temperatura o de la incompatibilidad del producto. Incluso la atención más cuidadosa a los métodos de apilamiento adecuados y la gestión adecuada de la temperatura puede verse frustrada en el muelle de carga por un manejo brusco o largas demoras en condiciones no refrigeradas. Las pérdidas de calidad también pueden resultar de un control inadecuado de la temperatura o de la incompatibilidad del producto. Incluso la atención más cuidadosa a los métodos de apilamiento adecuados y la gestión adecuada de la temperatura puede verse frustrada en el muelle de carga por un manejo brusco o largas demoras en condiciones no refrigeradas. Las pérdidas de calidad también pueden resultar de un control inadecuado de la temperatura o de la incompatibilidad del producto. Incluso la atención más cuidadosa a los métodos de apilamiento adecuados y la gestión adecuada de la temperatura puede verse frustrada en el muelle de carga por un manejo brusco o largas demoras en condiciones no refrigeradas.

Ahora se enfatizan las opciones de compra locales para mejorar el sabor y la calidad nutricional de los productos frescos y hacer menos daño al medio ambiente. El énfasis está en la reducción de las millas de alimentos, las millas que recorre un producto alimenticio desde la cosecha hasta el mercado (Mitra, Chakraborty, y Pathak 2011). A medida que disminuyen las millas de alimentos, el tiempo entre la cosecha y el consumo debería disminuir, lo que lleva a una menor pérdida de vitaminas y un menor consumo de combustibles fósiles. Es más probable que los productos locales se cosechen en la madurez máxima, lo que da como resultado un mejor sabor y un mayor contenido de vitaminas que cuando se cosechan en un estado menos maduro. Sin embargo, el concepto de millas alimentarias es demasiado simplista y es posible que no refleje con precisión el impacto en la calidad o en el consumo de carbono. Las frutas y verduras recolectadas en la madurez máxima también se deterioran más rápidamente, particularmente cuando no se almacenan en condiciones óptimas, como es típico de los sistemas de manipulación locales. Además, la eficiencia de combustible de los vehículos que llevan cargas más pequeñas de productos a los mercados y los viajes especiales en vehículos privados de los consumidores para comprar un solo artículo disminuye el beneficio de los productos locales en términos de menores emisiones de dióxido de carbono. Los envíos al extranjero por barco y el transporte por ferrocarril son más eficientes desde el punto de vista energético que el transporte por camión. Los sistemas agrícolas en Europa y América del Norte suelen ser más intensivos en carbono que los de otros lugares de cultivo, por lo que incluso los envíos largos pueden representar una huella de carbono menor que los que se cultivan localmente.

Almacenamiento

Dentro del sistema de manipulación, las frutas y verduras se almacenan durante un período de tiempo que va desde unas pocas horas hasta varios meses, según el producto y las condiciones de almacenamiento. El almacenamiento de un producto sirve como un medio para extender la temporada, retrasando la comercialización hasta que los precios suban, proporcionando una reserva para una distribución minorista más uniforme o reduciendo la frecuencia de compra por parte del consumidor o establecimiento de servicio de alimentos. El producto debe tener una vida útil suficiente para que siga siendo aceptable desde la cosecha hasta el consumo.

La vida útil de una fruta o verdura durante el almacenamiento depende de su calidad inicial, su estabilidad de almacenamiento, las condiciones externas y los métodos de manipulación. La vida útil se puede extender manteniendo un producto a su temperatura óptima, humedad

relativa (HR) y condiciones ambientales. El retraso en la entrada del producto recolectado en los almacenes frigoríficos provoca un rápido descenso de la calidad. Un control inadecuado de las condiciones de almacenamiento, un almacenamiento excesivamente prolongado y unas condiciones ambientales inapropiados para un determinado producto, conducirán igualmente a la pérdida de calidad. Cuando se almacenan conjuntamente distintos productos, el etileno generado por las frutas en maduración causara rápidamente la senescencia de otros productos (por ejemplo de las hortalizas foliáceas).

El almacenamiento en atmósfera controlada es un medio comercialmente eficaz de extender la temporada de manzanas y muchos otros cultivos. La modificación de la atmósfera dentro de los paquetes al por mayor o al por menor es una extensión adicional de esta tecnología. La modificación de la atmósfera se logra estableciendo las condiciones iniciales y utilizando compuestos absorbentes dentro del empaque para limitar las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) y etileno (C_2H_4). El uso de irradiación gamma prolonga la vida útil de algunos productos básicos. La aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP) puede retrasar la maduración al hacer más lenta la respiración y la generación de compuestos volátiles.

Durante el almacenamiento pueden desarrollarse trastornos fisiológicos que reducen la aceptabilidad de productos susceptibles. El almacenamiento a temperaturas excesivamente bajas, puede inducir alteraciones fisiológicas o incluso la lesión del frío, una temperatura y una humedad elevadas pueden estimular el crecimiento superficial e interno de mohos y la actividad de los insectos infectantes. Los cultivos también pueden ser sensibles a altos niveles de CO_2 o C_2H_4 , bajos niveles de O_2 , estrés hídrico debido a la alta transpiración, altas temperaturas e irradiación (Shewfelt, Prussia, y Sparks 2014).

Distribución minorista

El destino final de la mayoría de las frutas y verduras frescas es el mercado minorista, donde un consumidor toma la decisión final de aceptar o rechazar un artículo individual o producto envasado. La distribución minorista es el más visible de todos los pasos de manipulación y, con frecuencia, el menos controlado. Los expositores de merchandising están diseñados para mejorar las compras rápidas e impulsivas, no necesariamente para mantener la calidad. Las condiciones dentro de la salida (temperatura, HR, iluminación), la exhibición cercana de productos incompatibles, la duración de la exposición a condiciones o productos incompatibles y el grado y severidad de la manipulación por parte del personal de la tienda o los consumidores, afectan la calidad y aceptabilidad. La adición de hielo a temperaturas más bajas y mantener una humedad relativa alta y la nebulización de agua programada son ejemplos de técnicas utilizadas para mantener la calidad. Sin embargo, la forma más eficaz de evitar pérdidas de calidad en el comercio minorista es una rápida rotación de existencias en los estantes.

Operaciones básicas en la post-cosecha en fresco

No hay sustituto de la refrigeración para preservar la calidad de los productos frutihortícolas en fresco por un mayor tiempo. No obstante, existen varias técnicas y tratamientos complementarios que también se pueden utilizar para mitigar la pérdida de calidad en fresco. A continuación, se presentan algunas operaciones en la post-cosecha (E. M. Yahia, De Jesus Ornelas-Paz, y Elansari 2011a):

Selección. La selección consiste en separar los frutos u hortalizas que presentan defectos tales que impidan su comercialización o procesamiento entre ellos se pueden destacar las siguientes características: partidos, podridos, deformes, magullados, con ataques de insectos o patógenos, entre otros.

Clasificación. La clasificación se realiza de acuerdo a los estándares de calidad para cada producto y los criterios del mercado; esta clasificación puede ser por tamaño, peso, color, forma o grado de madurez. En un sistema de post-cosecha tecnificado las operaciones de clasificación se realizan en equipos automáticos especializados con tecnologías de sensores que clasifican de acuerdo a los parámetros mencionados anteriormente. El dimensionamiento se realiza con diferentes máquinas ya sea por peso o por dimensiones. Los calibradores de dimensiones tradicionales miden la fruta en dos, tres y cuatro puntos de contacto. La clasificación de la fruta mediante rodillos consiste en pasar el producto por un banco de rodillos que tienen espacios de diferentes tamaños entre ellos. La fruta que encaja entre los rodillos cae del banco y se entrega en contenedores específicos según su tamaño. Los medidores electrónicos, que capturan varias imágenes de video de la fruta y calculan el volumen en función de estas imágenes, se utilizan cada vez más. s a su velocidad normal. Las frutas se rotan a medida que pasan por debajo de una cámara de video, que graba múltiples imágenes. Luego, las imágenes se analizan mediante un software especializado para determinar el diámetro, la forma, la densidad y el color de la fruta. Estos clasificadores también pueden determinar los tonos de amarillo en los limones verdes y diferenciar las naranjas amarillas de las rojas. También permiten la clasificación de la fruta en función de la incidencia de imperfecciones (número, área, intensidad y posición). De acuerdo con estas evaluaciones, cada fruta se entrega a la salida adecuada para el calibre / grado individual. Algunas frutas, como uvas, melones y cítricos, pueden clasificarse basándose en ° Brix utilizando equipos de infrarrojos cercanos (NIR) que están disponibles comercialmente.

Limpieza, lavado y saneamiento. En la limpieza se pretende eliminar del producto todo tipo de material extraño o diferente, que mezclado o adherido, no sea deseado en la presentación y que pueda alterar el peso o volumen. Estos materiales pueden ser: Arena, grasa, hojas, semillas, cáscaras, huevos de insectos, residuos de aspersión, ataques de bacteria, hongos, etc. Esta limpieza puede hacerse manual o mecánica de acuerdo a la tecnología implementada o capacidad de producción del cultivo. En el proceso de lavado puede incorporar sustancias que coadyuven a la protección de los productos en la post-cosecha a través de sistemas integrados para el lavado higiénico de frutas y hortalizas, evitando la contaminación por microorganismos patógenos, garantizando inocuidad, controlando podrición y disminución en el consumo de agua. Además, la limpieza mediante el lavado reduce la temperatura de los productos. El cloro, como hipoclorito de sodio líquido o cloro gaseoso, en una concentración de 50 a 200 ppm, en agua a un pH de 6.5 a 7.5 es un tratamiento de saneamiento comúnmente utilizado para muchos productos. El agua de lavado debe cambiarse con frecuencia dependiendo del volumen de fruta y la tasa de contaminación, y la actividad del cloro debe controlarse con frecuencia. La ozonización del agua es una alternativa al uso de cloro. En la Figura 1 se puede observar el lavado de plátano después de la cosecha.



Figura 1 Lavado de plátano en empacadora (E. M. Yahia, De Jesus Ornelas-Paz, y Elansari 2011a)

Control de enfermedades e insectos. Tradicionalmente, los fumigantes químicos se han utilizado ampliamente para la desinfestación de frutas. El bromuro de metilo (MBr) se utiliza a menudo en varios productos básicos, como uvas, nectarinas y melocotones., cítricos y ciruelas por su amplia acción contra un gran número de plagas. Además, los envíos grandes y voluminosos pueden tratarse rápida y fácilmente. Las condiciones de fumigación (concentración de MBr, tiempo y temperatura) dependen del tipo de fruta y plaga. Generalmente, este proceso de desinfestación es realizado a 4.4 °C o más. Sin embargo, el MBr puede dañar las frutas, especialmente si el producto fumigado se ha encerado recientemente o tiene agua condensada en la superficie. Las bajas temperaturas aumentan la incidencia de daños por MBr. Otra posible desventaja del MBr es que ahora se ha identificado como una sustancia química que daña la capa de ozono. Algunos usos de MBr en varios países ya han sido restringidos y su uso para ciertas aplicaciones está programado para ser eliminado en los próximos años (el plazo varía en diferentes países), de acuerdo con el Protocolo de Montreal y la Ley de Aire Limpio.

Se están realizando esfuerzos para desarrollar alternativas. Se ha probado la fosfina, pero el tiempo de exposición para la eliminación de insectos es mayor: 48 a 72 horas para las fosfinas en comparación con dos horas para el MBr. Este tiempo prolongado de fumigación no es deseable para muchas frutas tropicales y subtropicales porque generalmente tienen una vida post-cosecha reducida. Otros fumigantes que también se han probado incluyen el sulfuro de carbonilo y el yoduro de metilo. Actualmente existe cierto interés en algunos volátiles vegetales que podrían servir como fumigantes contra ciertos insectos que se alimentan de las superficies de las frutas.

Los tratamientos térmicos son un método eficaz, no químico, ampliamente utilizado para tratar mangos, papayas y algunas otras frutas tropicales. Los tratamientos térmicos mantienen el producto a una temperatura determinada (alta) durante un período de tiempo fijo, mediante la aplicación de agua caliente o aire caliente. Este tratamiento destruye diferentes etapas de varias especies de moscas de la fruta que podrían estar presentes en el interior de la fruta. Por ejemplo, un tratamiento de agua caliente a 46.1 °C durante 65 a 110 minutos (dependiendo del peso de la fruta) se usa comúnmente para el mango en varios países. Para la papaya se ha utilizado un proceso de calentamiento en dos etapas para erradicar la mosca mediterránea de

la fruta que consiste en un tratamiento a 42 °C durante 30 minutos y luego a 49 °C durante 20 minutos. Se ha logrado inhibir el desarrollo de *Anastrepha suspensa* en pomelos utilizando vapor caliente (43.5 °C /24 horas). *Ceratitis capitata*, *Dacus cucurbitae* y *Dacus dorsalis* se controlaron eficazmente en papayas mediante tratamiento con aire caliente (temperatura central de la fruta de 45.2 a 47.2 °C / 2 h). La inmersión de guayabas en agua caliente (46.1 °C/35 minutos) eliminó con éxito la *Anastrepha suspensa*. El tratamiento con aire caliente (temperatura central de la fruta de 47.2 °C / 2 h) eliminó la fruta de la mosca mediterránea en las nectarinas. El tratamiento con aire caliente (43.5 °C / 240 minutos) redujo la incidencia de *Diplodia spp*, *Phomopsis spp* y *Anastrepha suspensa* en pomelos. La principal desventaja de los tratamientos térmicos en el control de insectos es el daño potencial de la fruta. Se ha demostrado que el tratamiento con aire caliente (temperatura central de la fruta de 48.5 / 49.5 °C durante 60 minutos o más) causaba escaldaduras en las papayas. La inmersión de guayabas en agua caliente (46.1 °C / 35 minutos) aumentó la susceptibilidad al daño por frío, la pudrición de la fruta y la pérdida de peso post-cosecha.

Recubrimientos con protectores. Algunos productos frutihortícolas contienen una cutícula superficial, que se desarrolla durante el crecimiento de la fruta. La cutícula protege la fruta contra la deshidratación, regula el intercambio de gases y también puede proteger contra la descomposición y contribuir a la apariencia de la fruta. Sin embargo, se elimina o puede alterarse durante el lavado de la fruta y algunas otras operaciones de manipulación, lo que aumenta la susceptibilidad del producto a sufrir daños. Los recubrimientos protectores se han aplicado a los alimentos desde el siglo XII, cuando en China se utilizaba parafina para cubrir la fruta como método de conservación. Hoy en día la aplicación de ceras a la fruta se practica comercialmente para superar los efectos negativos del lavado y algunas operaciones de manipulación. Un encerado adecuado puede, por ejemplo, reducir la pérdida de agua, restringir el intercambio de gases y mejorar la apariencia de la fruta. Se debe elegir el tipo de cera y se debe realizar el encerado, de acuerdo con la legislación pertinente y la orientación de las autoridades. Las ceras comerciales generalmente contienen cera de carnauba, cera de abejas, cera de goma laca, cera de candelilla, aceite mineral, aceite vegetal, ceras a base de polietileno, parafina y emulsionantes. La cera de carnauba tiene un brillo y un costo bajos. La cera de goma laca da el mejor brillo, aunque se vuelve blanquecina cuando la fruta se saca de la cámara frigorífica. La cera de goma laca suele ser cara. Las ceras a base de polietileno proporcionan un control eficaz contra la pérdida de peso y también proporcionan un brillo aceptable. Las ceras se aplican utilizando equipo especializado como emulsiones acuosas o espumas a 38 °C o más. La protección con cera suele ir seguida de un cepillado para distribuir la cera y generar brillo. Luego, los productos cepillados se tratan con aire caliente para secar y fijar la cera.

Secado. El agua superficial agregada en alguna de las operaciones antes mencionadas debe eliminarse de las frutas y verdura, con la finalidad para reducir la descomposición, ya que el agua estimula el crecimiento de bacterias y hongos. En áreas geográficas con altas temperaturas y baja humedad relativa, la humedad se evapora rápidamente de la fruta. Por el contrario, en lugares húmedos es necesario secar la fruta. El secado se puede realizar en equipos automatizados o de manera manual de acuerdo con la capacidad de producción. Lo más común es que la fruta pase a través de un túnel de aire caliente, un tratamiento que elimina rápidamente el agua superficial de la fruta. Algunas frutas, como las naranjas y las toronjas, deben secarse después de los recubrimientos protectores. Una emulsión de cera sobre naranjas se puede secar con exposición al aire a 49 °C durante 2.5 minutos. Los rodillos metálicos cubiertos con materiales absorbentes también se utilizan para secar las frutas después del lavado. Mientras las frutas pasan por un banco de estos rodillos, se elimina el agua de lavado. El

agua de los rodillos se elimina mediante un dispositivo que presiona el material absorbente. Para secar la fruta también se puede utilizar un banco de cepillos similares a los que se utilizan para lavar. Las cerdas de polietileno o nailon son adecuadas y es común utilizar bancos de 20 o más cepillos para asegurar un secado adecuado.

Envases, empaques y embalajes (función, tipo y uso). El envase es definido como un contenedor primario que se halla en contacto interno con el producto y que de ordinario llega hasta el consumidor final. Bajo esta conceptualización, un envase puede tener cualquier forma y ser de cualquier material como: papel, cartón, vidrio, metal, plástico, fibra, madera, etc.

La contribución principal del envase o empaque es la de hacer eficiente el sistema de distribución física, creando protección, reduciendo pérdidas, mejorando aspectos nutritivos, siendo un factor positivo de venta y mercadeo y permitiendo ahorro de tiempo para el usuario final (Gomila, 2016). El propósito del envase o empaque consiste en proteger al producto de cualquier tipo de deterioro, bien sea de naturaleza química, microbiológica, física o mecánica. Además, proteger el contenido sin afectarlo.

El empaquetado es la última operación unitaria en el proceso post-cosecha de frutas y hortalizas y dependiendo de cómo se realice y se acondicione, se entregará al consumidor un producto de buena calidad y con las características físicas, organolépticas y nutricionales deseadas.

Algunas frutas (como las uvas) se envasan comúnmente en el campo, mientras que otras (como el aguacate, el mango, la papaya, la piña) se envasan comúnmente en estaciones de empaque central). El empaque en el campo puede ser muy simple requiriendo solo empacadores y cajas, o más complejo con cobertizos y máquinas especialmente diseñados (para recortar, clasificar, etc.). El empaque en el campo tiene varias ventajas. Reduce el tiempo entre cosecha y enfriamiento, reduce la posibilidad de manipulación del producto y las inversiones iniciales en este sistema son menores en comparación con el empaque en una empacadora centralizada. Sin embargo, el control de calidad y la clasificación en diferentes grados durante el envasado en campo no son fáciles, y además es difícil realizar ciertos tratamientos (como lavado, aplicación de fungicidas, encerado, calentamiento, etc.).

Los contenedores de campo para la mayoría de las frutas y verduras en diferentes regiones están hechos de plástico y son de diferentes tamaños, formas y diseños, con una capacidad de 10 a 20 kg. Las cajas de plástico tienen varias ventajas en comparación con las cajas de madera comúnmente utilizadas en el pasado y todavía en uso en algunas regiones, ya que son más livianas, causan menos abrasión del producto, necesitan significativamente menos mantenimiento, se limpian, lavan y desinfectan fácilmente y tienen mejor ventilación, pero suelen costar más que las cajas de madera.

Una vez en la estación de empaque, se utilizan varios materiales para empaquetar las frutas y verduras. Las cajas hechas de madera y bolsas de papel multicapa se usan comúnmente para frutas que se enfrían previamente antes de empacarse o que requieren un enfriamiento mínimo. Las cajas de madera o aglomerado son muy rígidas y pueden soportar apilamientos, transporte y pre-enfriamiento. No se deforman en condiciones de humedad y se pueden espaciar en el vehículo de transporte mediante listones de madera. Los melones, aguacates y tunas se envasan comúnmente en este tipo de caja.

Los productos para comercialización en fresco, son embalados con materiales que controlan el movimiento dentro de los empaques, estos materiales pueden ser, mallas plásticas, separadores, bandejas, almohadillas, entre otros. Los empaques deben de cumplir con criterios

especiales sobre todo para el transporte y almacenamiento, los cuales deben de incluir resistencia, protección al producto frente a daños mecánicos, fácil manipulación y los requerimientos para cada producto en cuanto a temperatura y control de humedad.

Muchas frutas que son hidrogenfriadas antes del envasado o envasadas en pequeñas cantidades se llevan al mercado en cajas de cartón corrugado. Mangos, plátanos, sandías y las papayas son ejemplos de frutas envasadas en cajas de este tipo. La desventaja de este tipo de cajas es su tendencia a absorber la humedad y perder fuerza a medida que aumenta su contenido de humedad. Esto evita su uso para productos hidrogenfriados después del envasado. Se requieren soportes de cartón o madera para apilar cajas de cartón en palés. Estos soportes se colocan en cada esquina del palet, aumentando la resistencia de la pila. Las cajas de cartón tratadas con ceras, aceites o resinas tienen una mayor resistencia a la humedad, lo que permite que la fruta envasada en ellas sea hidrogenfriada y enfriada con hielo. Las cajas de plástico suelen ser lo suficientemente resistentes para apilarse, pero se rompen fácilmente cuando se caen o se manipulan con brusquedad. Una de las ventajas de utilizar envases de plástico es que se pueden fabricar según las necesidades de un usuario en particular. Si se va a utilizar envases para el consumidor; el producto puede ser colocado en este empaque en la empacadora, cerca del sitio de cosecha, o una vez que el producto llegue al mercado final. Los envases de consumo están hechos de varios tipos de materiales, entre ellos acetato de celulosa, cartón, clorhidrato de caucho, poliéster, poliestireno orientado, cloruro de vinilideno, polietileno irradiado, nailon, vinilo y polipropileno, entre otros. Estos materiales se utilizan para fabricar cajas, vasos, bolsas, bandejas, revestimientos y mallas de diferentes tamaños. Estos paquetes deberían proporcionar protección adecuada contra lesiones y pérdida de agua y debería ser lo suficientemente permeable para permitir un intercambio adecuado de gases y vapor de agua. Las uvas, guayabas, naranjas, limas y aguacates se envasan comúnmente en este tipo de recipientes. Los paquetes de consumo se transportan generalmente desde la planta de envasado a la tienda minorista en grandes contenedores maestros, cuyo propósito es simplificar la manipulación de los paquetes de consumo. Estos contenedores maestros suelen estar hechos de cartón.

La tecnología de empaques aplicada a los procesos post-cosecha, ha incursionado en la innovación y desarrollo de nuevas tecnologías trabajado a través de la investigación científica, para determinar materiales y técnicas que ayuden a contrarrestar los problemas que ocasionan pérdidas post-cosecha en la producción de frutas y hortalizas, generar valor agregado y por ende asumir un mejor retorno económico. Adicionalmente, el consumo creciente de frutas y hortalizas debido a los nuevos hábitos de alimentación que demandan los consumidores, ha motivado a la industria a comercializar frutas y hortalizas mínimamente procesadas o de IV Gama, lo que implica el uso de estas nuevas tecnologías desarrolladas. Los alimentos mínimamente procesados en fresco (MPF), también denominados cuarta gama (IV gama), se refieren a todas aquellas frutas u hortalizas que tienen un mínimo proceso previo al envasado, ya sea lavado, pelado y/o troceado.

Procesos comunes de envasado

Atmósfera controlada (AC). Con el objetivo de contribuir a la conservación de frutas y hortalizas y garantizar calidad y durabilidad en el tiempo, se ha desarrollado la tecnología de atmósferas controladas. La atmósfera controlada (AC) es una técnica frigorífica de conservación, donde se modifica la composición gaseosa de la atmósfera que rodea el producto en un sistema de refrigeración donde se controlan variables físicas del ambiente como la temperatura, humedad y circulación del aire, también puede llamarse atmósfera empobrecida o con niveles bajos de oxígeno (O_2) y enriquecida en dióxido carbónico (CO_2) para la conservación de productos hortofrutícolas. La composición del aire se ajusta de forma precisa a los requerimientos del producto envasado, manteniéndose constante durante todo el proceso.

La AC disminuye la velocidad de las reacciones bioquímicas provocando que la respiración en el producto sea más lenta, se retrase la maduración, estando el fruto en condiciones latentes, con la posibilidad de una reactivación vegetativa una vez puesto el fruto en aire atmosférico de condiciones normales.

Para controlar las condiciones de esta tecnología durante el almacenamiento, se deben utilizar sistemas para disminuir el O_2 y/o generar CO_2 . En esta tecnología asociada al proceso de refrigeración se acentúa el efecto de la refrigeración sobre la actividad vital de los tejidos, evitando problemas fisiológicos y senescencia, lo cual hace más posible la conservación de frutas y hortalizas (Pinto, Vega, y Cañarejo 2016).

Atmósfera modificada (MA). La tecnología de atmósferas modificadas (AM) para el empaque de productos como las frutas y las hortalizas consiste en crear al producto una atmósfera que lo rodee, utilizando nitrógeno sólo o mezclado con dióxido de carbono y reduciendo el contenido de oxígeno hasta niveles normalmente inferiores al 1%, esto con el fin de disminuir el deterioro del producto por oxidación. La AM se logra haciendo vacío y posteriormente inyectando una mezcla adecuada de gases. Lo anterior conociendo el comportamiento fisiológico de los frutos.

Esta técnica puede emplearse por modificación pasiva o modificación activa, lo que significa que en la pasiva la permeabilidad de los gases generados de O_2 , CO_2 , vapor de agua y etileno en la película y en conjunto con la respiración del producto, generen un equilibrio en la atmósfera que lo rodea. En este sistema es importante que se conserve el balance de los gases O_2 y CO_2 durante el almacenamiento, transporte y manipulación. La permeabilidad del O_2 y el CO_2 dependen de los niveles e intensidad respiratoria del producto, la temperatura y las características de la atmósfera que se requiera para la conservación del producto. En la modificación activa, la atmósfera que rodea el producto es modificada en el momento en que se realiza la inyección del gas o de la mezcla de gases según la composición.

En la técnica de empaque mediante atmósfera modificada es muy importante considerar el tipo de envase y los materiales del mismo, la mezcla de gases requeridos y el equipo, todo en relación a los requerimientos del producto o los productos a envasar utilizando esta técnica.

Para la tecnología de empaque con AM, se debe tener presente el tipo de película envolvente a utilizar, con las características de permeabilidad deseadas. El uso de diferentes películas, no genera el equilibrio deseado en la atmósfera de los productos, en este sentido la evolución del producto hortofrutícola también tendrá un comportamiento diferente.

Empaque inyectando gas. Este sistema de envasado consiste en extraer el gas que se encuentra en el interior del empaque y sustituirlo por otro como dióxido de carbono o nitrógeno; el aire puede ser eliminado totalmente y la atmósfera puede ser modificada o no modificada.

Se trata de eliminar todo el oxígeno que existe en el interior del envase y es muy utilizado para el empaque de granos que contengan baja humedad como el café o productos líquidos sensibles al oxígeno.

Empaque al vacío. Este sistema consiste en la eliminación de todo el aire contenido en el interior del empaque, sin modificar la atmósfera, ni reemplazar por otro gas. En este sistema existe una diferencia entre la presión interna y externa del empaque, si el empaque es rígido, el efecto de la diferencia de presión puede generar el ingreso de aire o de microorganismos. Si el empaque es semirrígido, la diferencia de presión puede causar colapso en el empaque y por ende daños en el producto. Las frutas y hortalizas son alimentos metabólicamente activos, por tanto, cuando son empacados al vacío, continúan con sus actividades respiratorias y consumo del poco oxígeno que queda en el producto, por tanto, se aumenta el vacío y se genera dióxido de carbono y vapor de agua. De esta manera, el empaque al vacío de un producto metabólicamente activo, se convierte en un empaque en atmósfera controlada.

Empaque al vacío con película adherida. En estos sistemas de empaque, el material seleccionado para ello, debe de estar en la capacidad de mantener la mezcla de gases, impidiendo la entrada de oxígeno y la salida de dióxido de carbono. De igual manera debe de poseer características de permeabilidad y que evite la condensación de agua.

Algunas de las películas utilizadas en esta modalidad de empaque son: las películas laminadas, películas micro perforadas, membranas micro porosas, películas construidas y películas inteligentes.

- A. Películas laminadas.** Son elaboradas a partir de diversidad de materiales, una pegada a la otra por medio de un adhesivo. Estas películas proporcionan mayor facilidad y calidad en el grabado al ser impresas, pero resultan ser muy costosas. Son utilizadas para el empaque de productos de baja o mediana actividad respiratoria, pues la variabilidad de capas interfiere en el paso del oxígeno hacia el interior del empaque.
- B. Películas micro perforadas.** Son utilizadas para el empaque de productos que presentan una elevada velocidad de transmisión del oxígeno, contienen pequeños agujeros de aproximadamente 40 a 200 micras de diámetro que atraviesan la película. Mantienen altos niveles de humedad relativa, efectivos para conservar productos de sensibles a pérdidas por deshidratación y afectaciones por microorganismos.
- C. Membranas microporosas.** Son empleadas en combinación de otras películas flexibles, se pone sobre una película impermeable al oxígeno, la cual tiene una gran perforación, en este sentido se logra que se den los intercambios gaseosos, por medio de la membrana micro porosa, cuyos poros son de 0,2 a 3 micras de diámetro.
- D. Películas inteligentes.** Hacen parte de lo que se conoce como los envases activos, formados por membranas que forman una atmósfera modificada dentro del mismo y aseguran que el producto no consuma el oxígeno que está en el interior, convirtiéndose en una atmósfera anaeróbica. Las películas inteligentes, no permiten el desarrollo de sabores u olores extraños y desagradables, así como la reducción de riesgos por intoxicaciones alimentarias o enfermedades transmitidas por alimentos (ETA), debido a la producción de toxinas generadas por microorganismos anaeróbicos. Las láminas soportan temperaturas de 3 a 10 °C e incrementan la permeabilidad a los gases cuando la temperatura supera el límite permitido.

Cadena de frío

La temperatura es el factor más importante para mantener la calidad después de la cosecha. Es uno de los factores más importantes que modulan los procesos fisiológicos y bioquímicos en frutas y verduras durante la vida post-cosecha, y el almacenamiento a baja temperatura es uno de los métodos de conservación física y verde más efectivos (Duan et al. 2020). La cadena de frío se refiere colectivamente a todas las etapas de gestión que implican una reducción de la temperatura o el mantenimiento de la temperatura por las que deben pasar los productos perecederos para garantizar que lleguen al consumidor final en un estado seguro, saludable y de alta calidad. El manejo de la cadena de frío debe comenzar inmediatamente después de la cosecha y luego continuar a lo largo de la cadena de manejo. La cadena de frío consta de varios componentes enfriamiento rápido (también llamado preenfriamiento), refrigeración/almacenamiento en frío, transporte refrigerado, exhibición refrigerada durante la comercialización y mantenimiento refrigerado (en casa, en restaurantes, etc.). El equipo de almacenamiento en frío suele ser diferente del equipo necesario para el preenfriamiento y el transporte refrigerado, ya que normalmente no es muy eficaz para el enfriamiento rápido. En general, los métodos factibles para mantener una cadena de frío óptima son vitales para el manejo adecuado de frutas y verduras; y no debe haber retrasos significativos en el enfriamiento de los productos, ni interrupciones en el programa de manejo de la temperatura (E. M. Yahia, De Jesus Ornelas-Paz, y Elansari 2011b). El almacenamiento refrigerado retarda la acción de los siguientes factores de deterioro en cultivos perecederos (Prusky 2011):

- i. Envejecimiento, ablandamiento y cambios de textura y color asociados a la maduración.
- ii. Cambios metabólicos indeseables y producción de calor respiratorio.
- iii. Pérdida de humedad y el marchitamiento resultante.
- iv. Deterioro causado por la invasión de bacterias, hongos y levaduras.

Una de las funciones más importantes de la refrigeración es controlar la tasa de respiración de los productos, porque la respiración genera calor a través de la oxidación de azúcares, grasas y proteínas en las células del producto. Además, la pérdida de estas reservas de alimentos almacenadas a través de la respiración significa una disminución del valor de los alimentos, pérdida de sabor, pérdida de peso vendible y deterioro acelerado. Por lo tanto, la tasa de respiración de un producto afecta fuertemente su tránsito y vida post-cosecha, y cuanto mayor sea la temperatura de almacenamiento, mayor será la tasa de respiración. Para que la refrigeración sea eficaz en retrasar el deterioro, es importante que la temperatura en las cámaras frigoríficas se mantenga lo más constante y estable posible, y que las salas estén adecuadamente ventiladas para permitir la circulación del aire y evitar variaciones de temperatura. El enfriamiento y almacenamiento inmediatos imparte una mayor flexibilidad de mercado a la fruta almacenada. Los siguientes métodos y tiempos de aplicación son los más utilizados.

Pre-enfriamiento

El pre-enfriamiento es el primer paso para una buena gestión de la temperatura. El calor del campo de un cultivo recién cosechado (calentar el producto absorbido por la radiación solar y sus alrededores) suele ser alto y debe eliminarse lo más rápido posible antes de enviarlo, procesarlo o almacenarlo. Los camiones refrigerados no están diseñados para enfriar productos frescos, sino solo para mantener la temperatura de los productos pre-enfriados. Asimismo, la mayoría de las salas de almacenamiento refrigeradas no tienen la capacidad de refrigeración ni el movimiento de aire necesarios para un enfriamiento

rápido. Por lo tanto, el pre-enfriamiento es generalmente una operación separada que requiere equipos y / o salas especiales.

El pre-enfriamiento rápido a la temperatura más baja segura del producto es más crítico para cultivos con tasas de respiración inherentemente altas. Estos incluyen alcachofas, coles de Bruselas, flores cortadas, cebollas verdes, judías verdes, espárragos, brócoli, champiñones, guisantes, maíz dulce y caquis y varias otras frutas. Los cultivos con tasas de respiración bajas incluyen nueces, manzanas, uvas, ajo, cebollas, papas (maduras) y camotes.

Refrigeración de la habitación

El producto se coloca en una habitación aislada equipada con unidades de refrigeración. Este método se puede utilizar con la mayoría de los productos básicos, pero es lento en comparación con otras opciones. Una habitación que se usa solo para almacenar productos previamente enfriados requiere una unidad de refrigeración relativamente pequeña, pero si se usa para enfriar productos, se necesita una unidad más grande. Los contenedores deben apilarse para que el aire frío pueda circular a su alrededor y construirse de manera que pueda pasar a través de ellos. Las carrocerías de camiones refrigerados usados son excelentes salas de enfriamiento pequeñas.

Refrigeración por aire forzado

Los ventiladores se utilizan junto con una sala de enfriamiento para extraer aire frío a través de los paquetes de productos. Aunque la velocidad de enfriamiento depende de la temperatura del aire y la velocidad del flujo de aire, este método suele ser entre un 75% y un 90% más rápido que el enfriamiento de la habitación.

Hidrogenfriamiento

Verter el producto en agua fría o dejar correr agua fría sobre él es una forma eficaz de eliminar el calor y, al mismo tiempo, puede servir como medio de limpieza. Además, el hidrogenfriamiento reduce la pérdida de agua y el marchitamiento. Se recomienda el uso de un desinfectante en el agua, para reducir la propagación de enfermedades. El hidrogenfriamiento solo es apropiado para frutas que toleran la humectación.

Glaseado líquido o superior

La formación de hielo es particularmente eficaz en productos densos y paquetes paletizados que son difíciles de enfriar con aire forzado. En el glaseado superior, se agrega hielo picado al recipiente encima del producto, a mano o con una máquina. Para el glaseado líquido, se inyecta una suspensión de agua y hielo en los paquetes de productos a través de rejillas de ventilación o agarraderas sin quitar los paquetes de sus palés ni abrir la parte superior. Los métodos de formación de hielo funcionan bien con productos de alta respiración como el maíz dulce y el brócoli. Una libra de hielo enfriará alrededor de tres libras de productos de 29 a 4.5 °C.

Refrigeración al vacío

El producto está encerrado en una cámara en la que se crea un vacío. A medida que aumenta la presión negativa (vacío), el agua del producto se evapora y elimina el calor de los tejidos. Este método funciona mejor para cultivos de hojas, como la lechuga, que tienen una alta proporción de superficie a volumen. Para reducir la pérdida de agua, a veces se rocía agua sobre el producto antes de colocarlo en la cámara, en un proceso conocido como enfriamiento por hidrovac. El principal inconveniente de este método es el costo del sistema de cámara de vacío.

Gestión mejorada de la humedad para evitar pérdidas

Aunque la temperatura es la principal preocupación en el almacenamiento de frutas y verduras, la humedad relativa también es importante. La humedad relativa en la unidad de almacenamiento influye directamente en la pérdida de agua del producto, y la pérdida de agua puede degradar gravemente la calidad. Por ejemplo, las hojas verdes marchitas pueden requerir un recorte excesivo y las uvas pueden desprenderse de los racimos si sus tallos se secan. Además, la pérdida de agua significa una pérdida de peso vendible y, en consecuencia, una reducción de las ganancias.

La mayoría de los cultivos de frutas y hortalizas conservan una mejor calidad con una humedad relativa alta (80-95%), pero con esa humedad aumenta la probabilidad de que se desarrollen enfermedades. Las bajas temperaturas en los cuartos de almacenamiento ayudan a reducir el desarrollo de enfermedades, pero también se requieren saneamiento y otros métodos preventivos. Mantener una humedad relativa alta en el almacenamiento es complicado por el hecho de que la refrigeración elimina la humedad. Los dispositivos de humidificación simples y los nebulizadores sofisticados son eficaces para preservar la calidad durante el almacenamiento prolongado de frutas.

Combinación adecuada de temperatura y humedad.

La mayoría de los cultivos almacenados requieren bajas temperaturas y alta humedad, dos factores que no se combinan fácilmente. Varios otros cultivos requieren baja humedad y bajas temperaturas, y también hay algunos que se encuentran en el medio. Los cultivos de raíces como remolacha, zanahoria, nabo, colinabo y puerro se almacenan mejor a 0 °C y 90% de humedad. Las papas prefieren temperaturas de 5 a 15 °C y 90% de humedad. A las cebollas y el ajo les gusta que se enfríen, es decir, 0 °C, pero requieren menos humedad, alrededor del 65-75%. La calabaza de invierno prefiere temperaturas de 10 a 15 °C, pero en una atmósfera seca. Estos son cuatro tipos diferentes de almacenamiento que mantendrán las verduras durante un mes o más: frío y húmedo; frío y seco; fresco y húmedo; fresco y seco.

Refrigeración solar

Teniendo en cuenta que la demanda de refrigeración aumenta con la intensidad de la radiación solar, la refrigeración solar se ha considerado una solución lógica.

Sistema de refrigeración fotovoltaica

El avance en la tecnología solar fotovoltaica y el alto costo de las energías tradicionales han provocado el aumento de la instalación de energía solar fotovoltaica a nivel mundial en un 20-25% durante los últimos 20 años (Ikram et al. 2021). Un sistema de refrigeración eléctrica solar consta principalmente de paneles fotovoltaicos y un dispositivo de refrigeración eléctrica. Las células solares son básicamente semiconductores cuya eficiencia y costo varían ampliamente según el material y los métodos de fabricación con los que están hechas. El sistema fotovoltaico hecho a partir de semiconductores incluye dos modelos: policristalino y monocristalino. En los sistemas de refrigeración fotovoltaicos, las baterías o los generadores siempre se utilizan como energía de respaldo. Las principales características de los refrigeradores fotovoltaicos son una construcción simple con altas eficiencias aunque para que el sistema sea práctico para fines comerciales, todavía existen varios desafíos. En primer lugar, los sistemas deben estar equipados con algunos medios para hacer frente a la alteración del ritmo de producción de electricidad con el tiempo, como batería eléctrica, uso mixto de energía solar-red eléctrica o un compresor de capacidad variable. En segundo lugar, el precio de un panel solar fotovoltaico debería ser mucho menor que el de otras tecnologías de refrigeración. Debido a la rápida disminución del coste fotovoltaico (PV) y al objetivo común de aliviar la crisis energética,

los sistemas solares fotovoltaicos se utilizan más que los sistemas solares térmicos en edificios residenciales urbanos y casas rurales. En la Figura 2 se presenta un sistema convencional diseñado para almacenamiento en frío acoplado con energía solar fotovoltaica.

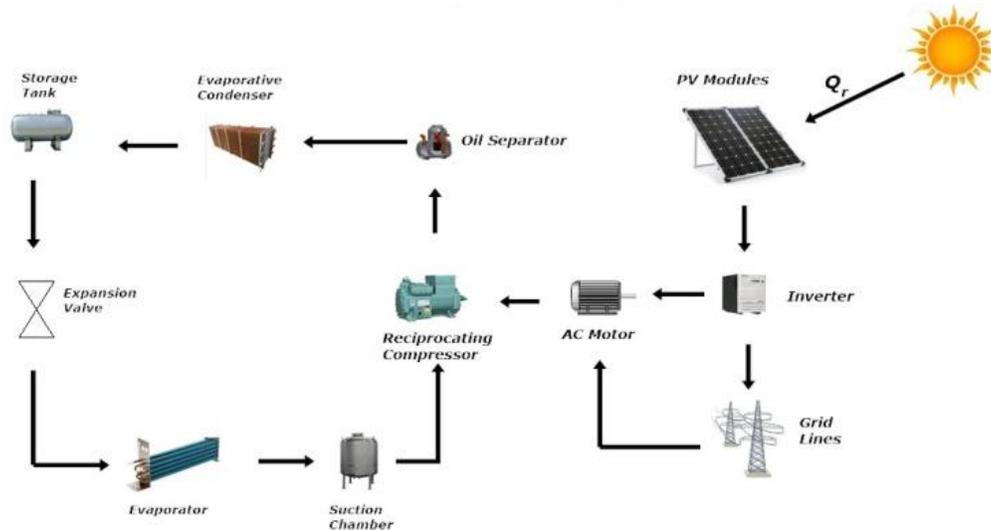


Figura 2 Sistema de refrigeración por compresión de vapor eléctrico solar (Ikram et al. 2021).

Para almacenar energía solar y mejorar la estabilidad bajo la influencia de la irradiancia intermitente, generalmente se utiliza un banco de baterías recargables en el enfriamiento fotovoltaico fuera de la red como una instalación de almacenamiento intermedio y de almacenamiento. Sin embargo, este diseño genera altos costos operativos y de inversión. Además, de los costos de mantenimiento y la posible contaminación ambiental en los países en desarrollo porque la tecnología de reciclado de baterías no estaba avanzada y la eficiencia económica es baja. Como resultado, los sistemas refrigeración impulsados por PV enfrentan los desafíos de bajo rendimiento, alta inversión inicial y configuraciones complejas para aplicaciones prácticas, especialmente aplicaciones a gran escala. Una estrategia para eliminar el banco de baterías, es el uso de métodos de almacenamiento de energía térmica, como los materiales de cambio de fase (PCM) y el almacenamiento térmico de hielo (Li et al. 2021).

Sistema de refrigeración solares térmicos

Los sistemas solares térmicos incluyen soluciones termomecánicas, de absorción, adsorción y desecantes (Kim y Infante Ferreira 2008). El tipo más común de sistemas solares térmicos es el colector de placa plana y tubo de vacío. Los colectores solares suministran el calor al compresor térmico, por lo que la temperatura de trabajo del sistema determina la eficacia de los colectores. En otras palabras, en temperaturas más altas, normalmente los motores térmicos funcionan de manera más eficiente mientras que los colectores solares liberan más calor al aire ambiente y entregan menos calor. Estos dos modos dispares diseñan y construyen la estructura de un sistema solar térmico.

Refrigeración termomecánica

Motor termomecánico significa un sistema que convierte la energía solar térmica en trabajo mecánico. En el sistema de refrigeración, esta función, en consecuencia, acciona un compresor de vapor mecánico de un frigorífico. Se logra una mayor eficiencia de los refrigeradores con

tecnología termomecánica cuando (1) el sistema funciona con la temperatura más alta de la fuente de calor y / o (2) cuando el sistema solar a gran escala estaría disponible.

Para que los refrigeradores solares termomecánicos sean más competitivos en el mercado, el precio de un sistema que contiene el motor térmico y el colector solar debe ser comparable al de un sistema fotovoltaico. Comparando el precio de ambos sistemas se puede encontrar que un frigorífico solar termomecánico es más caro que un frigorífico fotovoltaico. Por tanto, económicamente, este sistema no es viable.

Refrigeración por sorción

Aunque la refrigeración por tecnología de sorción era una tecnología de nicho al principio, pero después de un tiempo y debido a muchas ventajas como ser amigable con el medio ambiente, ser silencioso, la confiabilidad del sistema y el bajo costo de mantenimiento, se hizo más popular y la demanda de ese sistema aumentó especialmente con los nuevos modelos que es capaz de trabajar con temperaturas inferiores a 100 °C que hacen que el sistema utilice energía de baja temperatura.

Refrigeración por absorción

Uno de los sistemas más comunes en la refrigeración solar es el frigorífico con tecnología de absorción, ya que necesita muy poca o, en ocasiones, ninguna entrada eléctrica. La comparación de los sistemas de absorción y adsorción muestra que las máquinas de absorción suelen ser más pequeñas que las máquinas de adsorción para la misma capacidad, y se debe a la transferencia del alto coeficiente de calor del absorbente. Además, la calidad de fluido del sistema absorbente hace que el sistema sea más flexible en la actualización de una máquina más eficiente.

Refrigeración por adsorción

Los refrigeradores de adsorción se dividen en dos categorías principales: intermitentes y continuos y hay dos tipos de adsorciones; adsorción física y adsorción química. Los adsorbentes físicos tienen la estructura llena de poríferos con cientos de proporciones de superficie-volumen que son capaces de atrapar y retener refrigerantes de forma selectiva. Se pueden renovar fácilmente calentándolos después de la saturación. En el proceso de adsorción, las moléculas de fluido se estabilizan en las paredes de un material sólido. Como el adsorbente debe regenerarse en el momento en que se satura, el proceso no continúa y, por eso, para el funcionamiento continuo son necesarios diversos lechos de adsorbente.

Tecnología de enfriamiento desecante

Para una determinada aplicación de enfriamiento, la tecnología del sistema de enfriamiento desecante se ha convertido en una herramienta valiosa en la industria. En comparación con el sistema de enfriamiento por adsorción/absorción, la tecnología desecante tiene más compensación. Como funciona con el pico de descenso eléctrico, puede utilizar fácilmente la energía solar térmica mientras no necesita los refrigerantes que agotan la capa de ozono. Para obtener la mejor calidad del aire interior, tanto desecante sólido como líquido utilizado en el sistema de aire acondicionado. Investigaciones recientes en el sistema de enfriamiento con desecante solar se ha enfocado en mejorar los materiales desecantes que brindan una mejor capacidad de sorción, isotermas de equilibrio favorables y mejores tasas de humedad y calor. Al comparar diferentes tecnologías en los sistemas de enfriamiento, la deshumidificación desecante es más eficiente en el control de la humedad que las otras tecnologías y al momento de pedir una gran ventilación o deshumidificación; El sistema de deshumidificación con desecante solar puede ser una alternativa adecuada.

Procesos y tecnologías post-cosecha para productos procesados

La comercialización de frutas frescas a largas distancias es muy difícil porque las frutas son alimentos perecederos. Se estima que las pérdidas post-cosecha de frutos varían entre el 15 y el 50% de la producción total en algunos países. Además, la mayoría de las frutas son de temporada y, por lo tanto, están disponibles como fruta fresca solo unos pocos meses al año.

La elaboración de nuevos productos, mediante procesos de preservación, es una alternativa para reducir las pérdidas post-cosecha. Los procesos de conservación, como el enlatado, la pasteurización, la esterilización, las tecnologías de embalaje y secado, contribuyen a prolongar el tiempo de conservación de los productos, lo cual reduce las pérdidas y el desperdicio en la cadena de alimentos (Langelaan et al. 2013).

Las frutas y verduras se procesan en muchos productos diferentes utilizando muchas técnicas diferentes. Por ejemplo, la piña se procesa comúnmente en productos como rodajas o aros enlatados, pulpas o jugos. Estas frutas se procesan utilizando métodos tradicionales como enlatado, concentración, fermentación y deshidratación, así como métodos más nuevos como la liofilización. Las operaciones preliminares requeridas son diversas e incluyen lavado, clasificación, pelado, corte, triturado y escaldado, entre otros.

Factores responsables del deterioro de frutas y verduras

Los procesos adoptados para la conservación de las frutas y sus productos tienen como objetivo inactivar los microorganismos patógenos y prevenir o retrasar la acción de los responsables del deterioro. También buscan inactivar las enzimas que se originan en la propia fruta, así como prevenir otros cambios físicos indeseables y reacciones químicas. Dichos agentes de deterioro dependen no solo de condiciones o factores intrínsecos al producto de fruta en sí, sino también de condiciones relacionadas con el entorno en el que se almacena o factores extrínsecos al producto.

Los determinantes intrínsecos de los procesos de deterioro incluyen la composición del producto de la fruta, la actividad del agua, el pH y las reacciones de oxidación y reducción, mientras que los factores extrínsecos incluyen la temperatura, la humedad relativa y la composición de los gases en el ambiente o el empaque en el que se almacena el producto. Los factores determinan no solo la ocurrencia de procesos de deterioro, sino también la velocidad (tasa) a la que ocurren estos cambios (Rosenthal et al. 2011).

Principios de los métodos convencionales de conservación

Los métodos más comunes de conservación de alimentos en general, y de conservación de frutas y verduras en particular, se basan en el control adecuado de los determinantes intrínsecos y extrínsecos. Por lo tanto, cualquier cambio en las condiciones ideales para la ocurrencia de procesos de deterioro, incluido el crecimiento de microorganismos patógenos y de descomposición, reacciones enzimáticas, procesos químicos, reacciones de oxidación de lípidos, pardeamiento no enzimático y alteraciones físicas como la agrupación, puede prevenir o ralentizar el deterioro, lo que permite un mayor tiempo de almacenamiento, lo que a su vez facilita el transporte, la comercialización, el manejo, la distribución y el consumo.

Algunos métodos implican someter los alimentos a altas temperaturas, destruyendo o inactivando los agentes que afectan la calidad y la seguridad alimentaria. Estos métodos implican aumentar la temperatura de los alimentos por encima del límite superior para el crecimiento de microorganismos o para la actividad de enzimas en deterioro. Dependiendo de la temperatura, el tiempo de exposición y la resistencia al calor del agente de deterioro, el efecto

puede ser un nivel alto o bajo de inactivación o destrucción completa. Varios procesos implican la aplicación de calor para conservar los alimentos y estos comprenden principalmente pasteurización térmica, esterilización y escaldado térmico. La selección del procedimiento apropiado que se utilizará para la conservación depende de las características de la fruta y verduras sobre los resultados esperados relacionados con la vida útil y las condiciones de almacenamiento.

Otro principio del procesamiento de conservación de frutas implica la reducción de la temperatura a un nivel por debajo del requerido para el desarrollo de procesos de deterioro. En este caso, las operaciones de procesamiento incluyen refrigeración y congelación, que actúan para retrasar o ralentizar los procesos de deterioro que ocurren durante el almacenamiento. Sin embargo, estas operaciones no destruyen a los agentes responsables del deterioro. Como resultado, los procesos que se terminan durante el almacenamiento a baja temperatura a menudo pueden reiniciarse al inicio de mejores condiciones para su crecimiento.

La disminución de la actividad del agua es uno de los principales factores intrínsecos asociados a la disminución de los procesos de deterioro. Es la base de otros procesos de conservación como el secado o la deshidratación, además de ser la motivación de estrategias alternativas como la adición de solutos, como azúcares, al fruto. Por lo tanto, el objetivo también es cambiar las condiciones de la fruta y verduras que son favorables a los procesos de descomposición, como el crecimiento de microorganismos y las reacciones catalizadas por enzimas.

El ajuste del pH, otro factor intrínseco, se logra mediante la acidificación de los alimentos o promoviendo la fermentación, lo que da como resultado la producción de ácidos láctico y acético. Dado que muchas frutas tropicales son ácidas, este tratamiento es menos común y generalmente se usa en asociación con otros procesos, como la aplicación de calor, que luego puede ser de menor intensidad como resultado. Los chutneys de frutas tropicales, como el elaborado a partir de mangos, son un ejemplo de ello, ya que la acidez que aporta el vinagre se combina con otros conservantes como el azúcar y los condimentos, que además aportan el sabor adecuado.

Los procesos asociados al control del potencial de reducción de la oxidación consisten principalmente en eliminar o disminuir la disponibilidad de oxígeno para reacciones de deterioro como la oxidación de lípidos, vitaminas o pigmentos. Además, se retrasa el crecimiento de microorganismos y enzimas. Esta es la base para la aplicación de vacío en productos antes del cierre de envases así como en procesos como atmósferas controladas o modificadas, en las que se altera o ajusta la concentración de oxígeno para evitar su deterioro.

Refrigeración y congelación

Enfriamiento

El consumo de frutas y verduras recién cortadas o mínimamente procesadas ha aumentado en los últimos años. Los mangos, melones, cítricos, sandías, piñas y papayas se procesan mínimamente y luego se envasan con trozos de la misma fruta o como una mezcla de frutas. Los pasos típicos en el procesamiento mínimo de frutas incluyen clasificación, lavado, pelado y corte (incluida la eliminación del núcleo y el extremo del tallo de la fruta), escurrimiento, centrifugación y empaque. El envasado en atmósfera modificada se usa comúnmente para conservar frutas mínimamente procesadas. La irradiación infrarroja también puede ser útil para evitar el pardeamiento y la pérdida de agua y compuestos aromáticos en frutas mínimamente procesadas. Las frutas mínimamente procesadas son altamente susceptibles a la descomposición.

Las frutas y hortalizas envasadas suelen estar expuestas a diferentes temperaturas ambientales durante el envío desde la planta de procesamiento al consumidor, el almacenamiento y la exhibición al por menor; el envasado en atmosfera modificada no es un sustituto de la gestión adecuada de la cadena de frío, pero puede ayudar a prolongar la vida útil. La temperatura de los productos frescos y recién cortados debe mantenerse por debajo de 7-8 °C al menos para retrasar la pérdida de calidad y reducir la proliferación de microorganismos de descomposición, pero a menudo experimentamos abuso de temperatura. Por lo tanto, un paso importante en la gestión de la cadena de frío es registrar la temperatura de los productos frescos a lo largo de toda la cadena de suministro, lo que también ayuda a una buena implementación de HACCP y permite tomar medidas correctivas. Los productos envasados recién cortados deben almacenarse a bajas temperaturas con 95% de HR para disminuir la tasa de respiración, los procesos enzimáticos y la actividad microbiana. El acondicionamiento de almacenamiento generalmente se refiere a la temperatura de almacenamiento o mantenimiento, el tiempo y la HR que pueden encontrar los productos recién cortados. La temperatura de almacenamiento requerida por los productos recién cortados debe ajustarse no solo de acuerdo con sus actividades metabólicas y microbianas, sino también de acuerdo con la especie/cultivo y las técnicas de procesamiento aplicadas.

Las formas más comunes de enfriamiento son la circulación forzada de aire, el agua fría o la aplicación de hielo. El enfriamiento por aire forzado es el más común e implica la colocación de la fruta en una cámara fría. El aire frío que sale del evaporador ingresa por la parte superior del techo y se mueve horizontalmente sobre el producto, el cual puede ser empaquetado o desempacado, regresando al evaporador a través del producto, camino que provocará la menor resistencia posible.

El producto generalmente se enfría en el mismo lugar donde se almacenará, lo que reduce la cantidad de manipulación requerida. Sin embargo, cuando hay espacio limitado, se puede realizar una reubicación del producto dentro de la cámara de enfriamiento, ya que existe una mayor necesidad de espacio de enfriamiento que de espacio de almacenamiento.

Una vez que el producto se enfría, su temperatura debe mantenerse durante el almacenamiento. Para lograr esto, las cámaras frigoríficas suelen estar equipadas con un sistema de circulación de aire frío y las frutas o productos de frutas se distribuyen por toda la cámara en palets o estanterías para asegurar una excelente circulación del medio refrigerante.

Congelación

En la congelación, el crecimiento de microorganismos se inhibe por completo a temperaturas inferiores a -9.5 °C. En general, las reacciones químicas se vuelven muy lentas y casi insignificantes a temperaturas inferiores a -18 °C. Sin embargo, a pesar de la fuerte disminución de la temperatura, algunas enzimas pueden actuar incluso a temperaturas tan bajas como -73 °C. Para fines prácticos, se utiliza una temperatura de aproximadamente -18 °C en el almacenamiento de alimentos congelados. Sin embargo, es necesario controlar la acción de las enzimas y la forma más común de lograr este control es mediante el escaldado previo de los frutos. Si las frutas no se blanquean o si la congelación cambia drásticamente sus propiedades, la fruta debe congelarse lo antes posible en pequeños volúmenes, para que también se puedan descongelar rápidamente, sin requerir calor. En los casos en que se aplique escaldado, la congelación debe realizarse inmediatamente después, preferiblemente con circulación de aire forzado en lecho fluidizado.

Cuando la temperatura de la fruta desciende por debajo de su punto de congelación, se forman cristales de hielo. Tanto la inmovilización de agua en cristales de hielo como la concentración de solutos no cristalizados contribuirán a una disminución de la actividad hídrica de la fruta. El descenso acelerado de la temperatura y la disminución de la actividad del agua pueden asegurar la conservación de los productos de frutas durante períodos prolongados, tanto desde el punto de vista sensorial como nutricional

La congelación puede ocurrir de dos formas básicas: lenta o rápida. La congelación lenta da como resultado la formación de un número menor de cristales más grandes, mientras que la congelación rápida provoca la formación de varios núcleos de cristalización más pequeños. Los cristales de hielo grandes tienden a romper la estructura celular y causar daños irreversibles a la textura y propiedades organolépticas de la fruta. A medida que la congelación rápida forma cristales de hielo más pequeños, causa menos daño celular que conduce a una menor fuga de material intracelular y difusión de sal, lo que da como resultado un producto descongelado con mejores características organolépticas. La variación de las temperaturas de congelación durante el almacenamiento puede provocar la recristalización, lo que sugiere que el control de la temperatura de almacenamiento es fundamental para el éxito del proceso. Vale la pena señalar que la mayoría de estos cambios sensoriales se vuelven visibles solo cuando las frutas se descongelan. En la congelación lenta, normalmente se usa una temperatura de aproximadamente $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se lleva a cabo en instalaciones más pequeñas, mientras que la congelación rápida se asocia típicamente con instalaciones más grandes y usa temperaturas de aproximadamente $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tanto para la refrigeración como para la congelación, la limpieza previa de la fruta es fundamental. Ni la refrigeración ni la congelación por sí solas podrán reducir el número de microorganismos en el producto a niveles satisfactorios. Incluso después de la congelación, las frutas contaminadas descongeladas aún conservan gran parte de su microbiota activa. Incluso si el frío causa daño microbiano, esto no debe considerarse un control microbiano suficiente. La regla básica es que la fruta que se va a enfriar o congelar ya debe haber sido desinfectada.

Fermentación

En el procesamiento de alimentos, la fermentación puede considerarse como un proceso mediante el cual, mediante el uso de microorganismos como levaduras o bacterias, en condiciones anaeróbicas, los carbohidratos se convierten en alcohol o ácidos orgánicos (Hasan Masud et al. 2020). El azúcar natural existente en los alimentos crudos, así como el azúcar agregado, se convierte en ácido durante este período de tiempo. Por la acción de las bacterias del ácido láctico, se forman el sabor, la textura y todas las demás características. De esta forma los productos se pueden conservar durante todo el año.

Las fermentaciones pueden clasificarse en términos generales como cultivos en estado sólido o sumergido. En la fermentación en estado sólido, los microorganismos crecen sobre un sólido húmedo en ausencia de agua libre. Sin embargo, puede haber una cantidad insignificante de agua capilar. El cultivo de hongos, la elaboración de pan, el procesamiento de cacao y la fabricación de algunos alimentos tradicionales, por ejemplo, miso (pasta de soja), salsa de soja, sake y torta de soja, son algunos ejemplos comunes de fermentación en estado sólido.

Por otro lado, el sustrato disuelto que incluye la solución de azúcar y el sustrato sólido que se suspende en una gran cantidad de agua para formar una suspensión se usa generalmente en el proceso de fermentación sumergida. El encurtido de verduras que producen alcohol de vino,

yogur y salsa de soja es el ejemplo muy común de fermentación sumergida en los países en desarrollo. Ambos tipos de fermentación se pueden realizar en presencia o ausencia de oxígeno. En la fermentación de alimentos, azúcares y otros carbohidratos, generalmente se convierten en tres productos, a saber, dióxido de carbono, alcohol y ácido orgánico conservante.

La fermentación es un proceso alimentario sostenible comprobado que se ha practicado en países en desarrollo. Es económicamente viable ya que exige menos costo y es de naturaleza simple. Además de esto, es obvio que los alimentos fermentados tienen una vida útil más larga que los alimentos procesados de otros procesos.

Elaboración de pulpa y jugos

La producción de pulpa congelada se ha convertido en una alternativa atractiva a los productos agrícolas frescos y puede abastecer al mercado en los períodos entre cosechas. La pulpa puede definirse como el producto de pulposa sin fermentar, no concentrada, no diluida, obtenido mediante un proceso tecnológico apropiado, con un mínimo de sólidos totales obtenidos de la parte comestible de las frutas y verduras.

Los procesos tecnológicos empleados para la conservación y fabricación de jugos y pulpas; son operaciones como pasteurización, congelación, acidificación y en algunos casos irradiación, todos los cuales han sido utilizados por las industrias para la obtención de pulpa. Los parámetros, como el pH, indican si es necesario emplear más de una tecnología de proceso: una pulpa baja en ácido, por ejemplo, requiere pasteurización además de refrigeración o congelación, lo que puede depender de la disponibilidad de envasado aséptico o sellado después del tratamiento térmico. Otro aspecto importante a considerar junto con el pH de la pulpa es el empaque final del producto, que puede ser hermético o no. Si el empaque no es hermético, puede ser necesario agregar conservantes químicos.

Los dos equipos más utilizados para la extracción de jugo y pulpa son el extractor y la prensa hidráulica. También existen prensas neumáticas, pero los tipos hidráulicos siguen siendo los más comunes. Hay varios modelos y tamaños, pero lo que es muy importante, junto con un alto nivel de eficiencia, es que todas las partes en contacto con las materias primas deben estar construidas principalmente de acero inoxidable resistente a los ácidos, ya que la mayoría de las frutas son ácidas. Debido a la variación en el tamaño del fruto y forma, la mayoría de estos equipos no son aptos para determinados productos, para los que se deben diseñar equipos específicos.

Extracción de pulpa/jugo

Independientemente del tipo de extractor, los frutos más grandes deben reducirse de tamaño para extraer la pulpa o el jugo. El equipo más comúnmente utilizado para este propósito es un molino de martillos o un molino de cuchillas. Lo que diferencia a un extractor de otro es su tamaño, las aberturas perforadas en el tambor y las cuchillas que giran dentro del extractor y actúan como raspadores o cepillos. El producto se introduce en la parte central del tambor, que gira a gran velocidad arrojando la fruta contra las paredes del tambor. Lo que pasa por los orificios del tambor se recoge como pulpa, mientras que lo que no puede pasar permanece en el tambor y, en consecuencia, acaba siendo eliminado como desperdicio, incluyendo cáscaras, piedras, semillas y otros materiales densos. Se pueden obtener jugos menos pulposos utilizando un tambor con aberturas más pequeñas. Por lo tanto, las pulpas gruesas necesitan aberturas en el tambor de entre 1.0 y 1.5 mm, mientras que para los jugos viscosos estas aberturas están entre 0.5 y 1.0 mm de tamaño. Para evitar atascos, y para jugos de baja viscosidad, esta operación generalmente se realiza en dos o tres pasos, primero usando una

malla gruesa con agujeros más grandes, luego con una pantalla con agujeros más pequeños. En este caso, se puede utilizar un equipo más pequeño en el segundo paso, ya que la parte voluminosa se ha recogido en el primer extractor. El segundo dispositivo se conoce comúnmente como finalizador. Otro parámetro que los procesadores suelen pasar por alto es la velocidad y la inclinación de las hojas dentro del extractor. Velocidades muy altas no permiten que la pulpa pase fácilmente a través de los orificios y, por lo tanto, puede desecharse como material de desecho. Inclinar las cuchillas podría aumentar la presión de la pulpa en los orificios, por lo que, permite mejores rendimientos. La mayoría de extractores permiten cambiar el tambor para que la extracción de pulpa se pueda modificar de acuerdo con la naturaleza de la fruta y el producto final deseado.

Prensas

En este caso, la fruta se aprieta contra una lona de nailon o una pantalla de acero inoxidable. La presión se puede variar para permitir una mayor o menor extracción de jugo. Se produce un jugo de mayor calidad cuando se evita la aplicación de alta presión, ya que este procedimiento generalmente conduce a que se incluyan en el jugo compuestos indeseables contenidos en la piel, piel o semillas de la planta. En general, se debe evitar presionar la fruta con semillas porque las semillas pueden hacer que las sustancias amargas pasen al jugo.

Selección del proceso de extracción

Si la cáscara de la fruta contiene sustancias amargas, el jugo no se extrae en la prensa, a menos que se retire la cáscara antes de la extracción. Sin embargo, si la cáscara de la fruta no contiene sustancias amargas, la fruta se puede presionar ligeramente, seguido de la extracción del jugo. Si la fruta tiene semillas pequeñas, el jugo se puede extraer en un dispositivo de extracción, con o sin cáscara según el tipo. Si la fruta contiene hueso, primero se debe quitar, y luego se realiza la extracción del jugo en la prensa.

Uso de auxiliares de filtración

Los auxiliares de filtración son básicamente sustancias inertes que se añaden a la pulpa para facilitar la extracción del jugo. Estos materiales crean canales de drenaje en el material a filtrar y son habituales en el proceso de extracción por prensado. Las ayudas pueden ser tan simples como cáscaras de arroz (estas deben esterilizarse antes de su uso) o materiales más complejos como la tierra de diatomeas. El uso correcto de los auxiliares de filtración permite operaciones más grandes y más rápidas en el ciclo del proceso, una mayor clarificación del jugo y una limpieza más fácil del equipo después del procesamiento.

Fabricación de mermeladas y jaleas

Las mermeladas y jaleas son productos agrícolas convencionales bien establecidos que se obtienen cocinando la fruta, entera o en trozos, o como pulpa o jugo, con azúcar y agua. A continuación, la mezcla se concentra hasta una consistencia gelatinosa con o sin la adición de un agente gelificante apropiado. Las definiciones de mermeladas y sus características, clasificación e ingredientes permitidos pueden variar según el país de producción y deben estar sujetas a las leyes del país donde se comercializa habitualmente el producto.

Uno de los parámetros más importantes para la clasificación de las mermeladas es el contenido de sólidos solubles. El contenido mínimo de sólidos solubles en las mermeladas debe ser del 60%. En todas las mermeladas se alcanza una concentración de al menos 65 % de sólidos solubles, y algunas requieren hasta 68 % de sólidos para obtener las cualidades organolépticas deseadas. En algunos países, todos estos productos se denominan 'jaleas', pero el contenido de sólidos solubles debe estar entre el 60 y el 65 % o más, de acuerdo con la legislación de cada

país. Los límites a la adición de conservantes se fijan en 1.0 mg kg^{-1} de sorbatos y benzoatos y 50 mg/kg de sulfitos expresados como SO_2 residual en el producto final, excepto en los casos en que la fruta original haya sido tratada con sulfito, cuando se podrá permitir un nivel de concentración de 100 mg kg^{-1} en el producto final. Se pueden agregar ácidos fumárico y cítrico en cantidades suficientes para lograr el efecto deseado, al igual que el ácido tartárico hasta una concentración máxima de 3.0 mg kg^{-1} . En general, no se permite el uso de colorantes y aromatizantes artificiales.

Los ingredientes básicos para la elaboración de mermeladas son: fruta, pectina, ácido, azúcar y agua. La calidad de la mermelada o jalea dependerá de la calidad de los ingredientes utilizados y su correcta combinación, así como del orden de adición durante el procesamiento. Generalmente, se permite la adición de acidulantes y pectina para compensar cualquier deficiencia en el contenido de pectina natural de la fruta. El gel se forma solo a un pH de alrededor de 3 y no se produce gelificación por encima de un pH de 3.4. La concentración óptima de azúcar es de aproximadamente 67.5 %, pero es posible obtener gelatina con un alto contenido de pectina y ácido con menos del 60 % de azúcar.

La adición de azúcar afecta el equilibrio entre pectina y agua, lo que desestabiliza los conglomerados de pectina, formando una red de fibras (el gel), que en consecuencia facilita la agregación líquida. La densidad y la matriz de esta red se ven afectadas por el contenido de pectina, mientras que la rigidez de la estructura se ve afectada por la concentración de azúcar y el nivel de acidez. El ácido endurece la red de fibras, pero la alta acidez afecta la elasticidad porque la pectina se hidroliza. La acidez total de la jalea debe rondar entre 0.5 y 0.8; una acidez superior al uno por ciento conduce a sinéresis o exudados líquidos de la jalea. También se pueden preparar mermeladas y jaleas utilizando una combinación de varias frutas. Las mermeladas y jaleas se pueden obtener de fruta fresca, de fruta congelada como pulpa de fruta o de puré o zumos de frutas.

Las frutas utilizadas para la fabricación de mermeladas y jaleas deben estar lo suficientemente maduras y en estado maduro, cuando se conserve el mejor color, aroma y sabor, y cuando el contenido de azúcar y pectina sea elevado. Los frutos ligeramente verdes tienen un mayor contenido de pectina que los frutos muy maduros, ya que es durante la maduración del fruto cuando la pectina se degrada en ácido péctico, sin formar un gel. Para obtener productos de alta calidad con características organolépticas deseables, se recomienda el uso de una mezcla de fruta madura con mejor sabor, sabor y color y fruta más verde con niveles más altos de pectina. Las frutas más adecuadas para el procesamiento de mermeladas y jaleas deben ser ricas en pectina y ácido, pero estos compuestos también pueden complementarse con pectina ácida o comercial. Los siguientes pasos son específicos del procesamiento de gelatina (Rosenthal et al. 2011).

Adición de ingredientes

El tipo de azúcar generalmente empleado en la fabricación de mermeladas y jaleas depende del país productor e incluye sacarosa de azúcar de caña, glucosa, jarabes de glucosa, azúcares invertidos, fructosa, 'azúcar morena', melaza de caña y miel. Incluso se pueden preparar mermeladas y jaleas con edulcorantes artificiales. Durante la cocción en un medio ácido, la sacarosa se hidroliza y se degrada parcialmente en glucosa y fructosa. El azúcar sólido utilizado debe estar en forma de polvo y se debe tamizar antes de agregarlo para evitar la introducción de materias extrañas como hilos de bolsas, piezas metálicas, etc., que pudieran estar presentes en el azúcar. El azúcar debe agregarse lentamente para evitar cualquier caramelización durante la cocción.

El otro ingrediente esencial para la preparación de mermeladas y jaleas es la pectina. Químicamente, las pectinas son una mezcla compleja de polisacáridos de los cuales los galacturonanos son el componente principal. Comercialmente, la pectina está disponible en forma de polvo o concentrado. La temperatura a la que la mezcla comienza a formar un gel durante el proceso de enfriamiento depende del grado de esterificación de la pectina. La pectina con alto contenido de metoxilo se clasifica comercialmente en tres grupos con respecto a la temperatura y la velocidad de gelificación:

- Pectina de gelificación lenta: el grado de esterificación es del 60-65% y el gel se forma a temperaturas entre 45 y 60 °C.
- Pectina de gelificación media: el grado de esterificación es del 60-65% y el gel se forma a temperaturas entre 55 y 75 °C.
- Pectina de gelificación rápida: el grado de esterificación es del 70-76% y el gel se forma a temperaturas entre 75 y 85 °C.

Cada una de estas pectinas tiene un pH óptimo diferente, generalmente entre 2.8 y 4.2, y se usa para diferentes aplicaciones. La adición de pectina es un paso muy importante en el procesamiento de mermeladas y jaleas. La pectina debe disolverse en el material antes de comenzar el procesamiento para obtener el efecto deseado y garantizar productos de alta calidad. En el caso de una cocción realizada a presión atmosférica, la pectina debe agregarse aproximadamente a la mitad del tiempo total de cocción. La pectina debe disolverse antes de agregarse al concentrador. Inicialmente, una parte de pectina seca debe mezclarse con cuatro partes de azúcar. A esta mezcla se le debe añadir lentamente agua calentada a 65–70 °C, y la mezcla se debe agitar vigorosamente mecánicamente (para pequeñas cantidades se puede usar una licuadora industrial) hasta que se forme una solución homogénea sin grumos.

Los acidulantes se añaden con el objetivo de reducir el pH, que es importante para una adecuada gelificación y realce del sabor natural de la fruta. Para lograr una gelificación adecuada, el pH final debe estar entre 3.0 y 3.2 El ácido debe agregarse al final del proceso y, si es posible, inmediatamente antes del envasado, especialmente en el procesamiento a presión atmosférica. Sin embargo, en el procesamiento al vacío, la adición de ácido puede ocurrir en cualquier etapa del procesamiento, ya que la temperatura de trabajo es más baja y, en consecuencia, no promueve la hidrólisis de la pectina.

Concentración y envasado

Las mermeladas y jaleas se pueden preparar utilizando dos métodos básicos: cocción a presión atmosférica o en condiciones de vacío. El equipo utilizado en estos dos métodos puede ser con una marmita de gas como alternativa viable a los pequeños procesadores de alimentos; ya las marmitas de vapor incurren en los altos costos financieros para el funcionamiento de las calderas para la generación de vapor.

La concentración de vacío puede ser continua o discontinua, según el tipo de equipo utilizado. Todos los ingredientes se combinan inicialmente en una olla y luego se transportan al concentrador. La temperatura de concentración es de aproximadamente 50 a 60 °C. Después de la cocción, la gelatina se puede calentar en el mismo concentrador, a una temperatura de 85–90 °C, o se puede retirar y calentar en otro recipiente de calentamiento antes del envasado.

El final del proceso también se puede determinar controlando la temperatura de la mermelada hirviendo a presión atmosférica. Este no es el mejor método ya que no garantiza resultados precisos; sin embargo, se puede utilizar cuando no se dispone de refractómetros para medir el

contenido de sólidos solubles. Las temperaturas se fijan a diferentes niveles según el contenido de sólidos solubles y el grado de inversión de la sacarosa.

Los envases utilizados para el envasado de la mermelada muestran un alto grado de variación en tamaño y forma. El vidrio es el material más utilizado, pero también se pueden utilizar latas de estaño recubiertas con barniz y recipientes de plástico. En el caso de las mermeladas producidas por procesamiento al vacío, la temperatura de la gelatina debe aumentarse a 85 °C antes del llenado para evitar el desarrollo de hongos y levaduras osmofílicas. Sin embargo, las jaleas procesadas a presión atmosférica deben enfriarse a 85 °C para lograr las siguientes condiciones necesarias: correcta gelificación, distribución homogénea satisfactoria, minimización de las variaciones de peso en el relleno debido a la variación de densidad, minimización del riesgo de rotura del vidrio debido a choque térmico y minimización del pardeamiento, inversión e hidrólisis de pectina.

Después del llenado, los frascos se transportan a las máquinas de sellado de tapas. Se pueden utilizar tapas metálicas pintadas internamente, provistas de juntas anulares; los frascos tienen un acabado típico en el borde que permite el sellado hermético y posterior desinfección del espacio libre. Las tapas se colocan manual o mecánicamente y luego se sujetan al borde de los frascos. Los tapones de rosca están sellados por una junta de goma interna que se cierra en el borde del recipiente. Otro sistema de cierre es la aplicación del tapón a la jarra mientras se llena el espacio mediante un chorro de vapor.

Cuando no se utiliza la inyección de vapor durante el cierre de los frascos, es necesario desinfectar el espacio y enfriar el producto lo suficiente para formar un vacío parcial, seguido lo más rápido posible de un enfriamiento gradual, para evitar el choque térmico. Esto se puede lograr volteando los frascos inmediatamente después de llenarlos y devolviéndolos a la posición normal después de unos minutos.

Cuando el producto está a más de 85 °C, no se requiere ningún tratamiento térmico adicional durante el proceso de cierre, ya que el producto, después de haber sido tratado térmicamente mediante cocción, también calienta el material de envasado. Sin embargo, si la temperatura es inferior a 85 °C, el producto debe tratarse térmicamente. Algunas fábricas utilizan un esterilizador continuo, en el que los frascos de mermelada se cargan sobre una estera de alambre y se colocan en un tanque de agua a una temperatura adecuada. Normalmente es suficiente una temperatura de 82 °C y una duración de 30 minutos.

Después del tratamiento térmico, el producto se enfría, se etiqueta, se empaqueta y se envía para su almacenamiento y distribución.

Tratamientos térmicos aplicados a productos de frutas

La calefacción es sin duda la tecnología más utilizada para la conservación de alimentos en general, incluidos los productos de agrícolas procesados. Permite la inactivación de agentes asociados al deterioro de los alimentos y también de microorganismos patógenos que pueden suponer un riesgo para el consumidor. Los microorganismos y las enzimas pueden actuar en un cierto rango de temperatura alrededor de la temperatura óptima para la actividad. La temperatura óptima para la actividad de la mayoría de los microorganismos patógenos y deteriorantes, así como de las enzimas deteriorantes, es alrededor de la temperatura ambiental normal, es decir, entre 20 °C y 40 °C. El calor puede promover el daño a microorganismos y enzimas, al cambiar la estructura de proteínas y otros compuestos y catalizando reacciones que pueden afectar negativamente el metabolismo y la homeostasis de los microorganismos y enzimas.

Tipos de procesos térmicos

El medio elegido para la transmisión de calor a un producto en particular depende del tipo de producto, es decir, si es líquido o sólido, y también si ha sido previamente envasado o no. Generalmente, los procesos térmicos se pueden clasificar como esterilización, pasteurización o blanqueo o escaldado.

La esterilización tiene como objetivo eliminar todos los microorganismos patógenos, incluidas las esporas, y también los que provocan deterioro. Generalmente se trata de tratamientos de alta intensidad en cuanto a duración del tratamiento y temperatura, que suele estar entre 110 °C y 150 °C. El principal objetivo de la pasteurización es eliminar las células vegetativas de los microorganismos patógenos y algunos de los responsables del deterioro. La eliminación de esporas, sin embargo, es más limitada con este tratamiento. Por lo general, implica temperaturas de entre 60 °C y 100 °C para garantizar la seguridad y la calidad del producto durante un período limitado de vida útil. El escaldado es un tratamiento térmico comúnmente utilizado como operación preliminar para disminuir la carga microbiana, inactivando las enzimas y eliminando el oxígeno del tejido alimentario.

Los criterios de selección para cualquiera de estos tratamientos se basan principalmente en las características del producto, como se describe anteriormente, y en el objetivo del tratamiento, incluida la vida útil deseada. El bajo pH de los productos ácidos, incluida la mayoría de las frutas, suele actuar como un factor inhibitorio natural para evitar la germinación de esporas y el crecimiento de la mayoría de los microorganismos patógenos. Para clasificar los productos según su acidez con el fin de definir el tipo de tratamiento térmico requerido para su conservación (pasteurización o esterilización), se definió un pH de referencia de 4.5 o 4.6 como se consideró anteriormente. Por debajo de este pH, los productos se clasifican como ácidos (medio o alto), lo que significa que la mayoría de las esporas de microorganismos patógenos y deteriorantes no pueden germinar. Para esos productos, la pasteurización es generalmente suficiente para eliminar las células vegetativas de la microbiota más común. Sin embargo, para productos con baja acidez, generalmente se requiere esterilización para preservar los productos en todas partes almacenamiento.

Procesos no térmicos aplicados al procesamiento

Aunque el calentamiento es muy eficaz para inactivar o eliminar los agentes deteriorantes, también puede destruir ciertos nutrientes y compuestos funcionales, como las vitaminas (vitaminas C y B1, por ejemplo). El calor también cataliza mecanismos de deterioro como la reacción de Maillard, que involucra grupos carboxílicos libres de carbohidratos y grupos amino presentes en proteínas y otros compuestos. Estos pueden ser beneficiosos en términos sensoriales para ciertos productos, pero pueden comprometer la biodisponibilidad de los aminoácidos, además de producir potencialmente sustancias tóxicas. Además, el calentamiento también puede provocar cambios sensoriales negativos, que implican la producción de sabor y atributos de sabor indeseables, como sobrecocido, amargo o quemado, y también puede promover cambios en el color al destruir los pigmentos (como las antocianinas y carotenoides, que también tienen propiedades nutricionales y funcionales) y hacen que se desarrollen compuestos de color inadecuados, como ocurre en el pardeamiento de la fruta.

Las tecnologías no térmicas se definen como aquellas que pueden conservar los alimentos con un enfoque menos agresivo, lo que permite mantener las propiedades nutricionales y sensoriales. Esto se logra principalmente evitando los tratamientos térmicos o mediante el uso de tratamientos térmicos de menor intensidad, muy a menudo en un enfoque combinado y optimizado que involucra otras tecnologías. Las tecnologías no térmicas generalmente incluyen

tecnologías emergentes como alta presión, campos eléctricos de pulso, calentamiento óhmico, luz de pulso y algunas tecnologías más tradicionales como la radiación gamma y el microondas.

Alta presión

El tratamiento de alta presión consiste en la aplicación de altísimos niveles de presión al alimento, en el rango de 100 a 900 MPa (1500 a 9000 Bar). Hay dos procesos distintos que involucran la aplicación de alta presión que actualmente están en estudio: el enfoque de alta presión hidrostática (HHP) y el enfoque de homogeneización de alta presión. Se ha investigado la alta presión hidrostática como una técnica de procesamiento no térmico para destruir patógenos transmitidos por los alimentos e inactivar enzimas con el fin de mejorar la seguridad y la vida útil de los alimentos perecederos, y ya goza de un uso comercial cada vez más generalizado. El procesamiento comercial habitual de HHP somete los alimentos a presiones de entre 200 y 700 MPa, generalmente para aplicaciones comerciales, y normalmente emplea agua como medio para transmitir la presión. A temperatura ambiente, la aplicación de presiones de entre 300 y 500 MPa inactiva las células vegetativas de microorganismos y reduce la actividad de las enzimas, pero aún permite la retención de pequeñas moléculas responsables del sabor y color y muchas vitaminas, lo que da como resultado un producto que puede almacenarse durante un tiempo considerable a 4-6 °C. En el sistema estático, el alimento preenvasado generalmente se inserta en una cámara de presión que se llena con el líquido (generalmente agua) que permite la transmisión de presión al producto. En el proceso de homogeneización, los alimentos líquidos fluyen hacia un sistema que se asemeja al proceso de homogeneización normal, pero enfrenta un diferencial de presión en toda la válvula de expansión que es mucho mayor que el encontrado en los procesos de homogeneización convencionales (entre 100 a 300 MPa en una o dos series etapas).

Campos eléctricos de pulso

La mayoría de las tecnologías no térmicas emergentes para la conservación de alimentos se basan en la aplicación de ondas electromagnéticas o corriente eléctrica para la conservación de alimentos. Los métodos involucran frecuentemente la generación y transmisión rápida de calor a los alimentos, y generalmente provocan mecanismos que permiten la sinergia inactivación de microorganismos y enzimas. Entre las tecnologías electromagnéticas más prometedoras para el procesamiento de frutas tropicales se encuentran los campos eléctricos de pulso (PEF). Esta tecnología consiste en un campo eléctrico generado por un circuito eléctrico en el que una gama de condensadores en serie proporcionan un alto almacenamiento de energía, que a su vez genera inducción electrostática y potencial eléctrico. Luego, el producto fluye a través de este campo eléctrico. El nivel de potencial eléctrico generalmente estudiado está entre 20 y 80 kV/cm, con una duración de pulso de 2 a 10 μ s.

La deshidratación

La deshidratación se define como la aplicación de calor en condiciones controladas para eliminar el agua contenida en los alimentos mediante vaporización. El objetivo principal es prolongar la vida útil de la fruta reduciendo la actividad del agua, lo que inhibe el crecimiento microbiano y ralentiza la actividad enzimática. La ralentización de la actividad enzimática suele ser reversible y las enzimas contenidas en la fruta pueden recuperar su actividad si se reintroduce la humedad, lo que conduce a cambios de color y textura, así como a la pérdida de vitamina C. Las principales ventajas de la deshidratación son:

- Consumo directo de frutas y verduras deshidratadas que comúnmente tienen un sabor dulce y una acidez moderada. Además, se concentra el valor nutricional.

- La utilización de frutos secos en la formulación de productos como yogures, zumos de frutas, tortas y otras preparaciones listas para consumir.
- Reducción de peso que puede alcanzar niveles tan altos como el 80%, lo que significa un ahorro sustancial en fletes, transporte, empaque y espacio físico para el producto deshidratado.
- Los productos agrícolas secos con menos del 18% de humedad no son favorables para el desarrollo de hongos, bacterias o reacciones químicas o bioquímicas importantes.

Proceso de deshidratación

El secado de frutas se puede realizar en secadores comerciales o se puede lograr de forma natural al sol (secado solar). En el caso del secado solar, la fruta se corta en rodajas o se utiliza entera, siempre que la geometría sea adecuada. Las frutas colocadas en bandejas expuestas al sol tienden a alcanzar el equilibrio con la humedad relativa del ambiente, por lo que el contenido de humedad final es generalmente alrededor del 25%. En los secadores comerciales, las condiciones de secado están mejor controladas y el proceso de secado es más eficiente, por lo que se reduce el tiempo de procesamiento y se mantiene la calidad del producto. En este caso, el contenido de humedad final puede estar en el rango de 25% a 5% base humedad. Al igual que en el secado al sol, las frutas se pueden cortar en rodajas para aumentar la superficie, lo que da como resultado un aumento consecuente de la velocidad de secado.

La fruta en forma de puré o jugo se puede secar en un secador de tambor, donde el puré pasa a través de rollos o tambores, o en secadores por atomización donde el secado se realiza por atomización. Los liofilizadores son un equipo muy versátil en lo que respecta a la presentación de frutas, ya que pueden deshidratar materiales alimenticios en forma de partículas o pequeñas frutas enteras, jugos o purés. Por último, existe un interés creciente en desarrollar la tecnología de conservación de la fruta por deshidratación osmótica, ya que esta técnica mejora la calidad global de la fruta ya sea entera o en rodajas, con un ahorro de energía en comparación con los procesos tradicionales de secado. El uso de esta técnica también permite obtener productos que mantienen un alto grado de similitud con la fruta fresca, factor clave en la aceptación del consumidor.

Principios de secado

El proceso de secado implica tanto la aplicación de calor como la eliminación de agua de los alimentos, por lo tanto, es un fenómeno de transferencia de calor y masa simultáneamente. Hay tres factores que controlan la capacidad del aire para eliminar el agua de un alimento: la cantidad de vapor de agua presente en el aire, la temperatura del aire y la cantidad de aire que pasa a través del alimento.

Cuando el aire caliente está relativamente seco y atraviesa la superficie del alimento, el vapor de agua en la superficie del alimento se esparce a través de la capa límite de aire alrededor del alimento y es arrastrado por el aire en movimiento. Se establece un gradiente de presión de vapor de agua entre el interior de la comida húmeda y el aire seco, que proporciona la fuerza impulsora para la deshidratación del producto. La capa límite es la barrera tanto para la transferencia de calor como para la eliminación del vapor de agua, y su espesor afecta la velocidad del aire de secado. Una velocidad lenta significa que la capa límite será más gruesa, lo que reduce la transferencia de calor y la eliminación de humedad.

Una vez que comienza el proceso de secado, la humedad del producto variará con el tiempo. Por lo general, una curva trazada con la fecha de humedad de los alimentos frente al tiempo de secado representa este perfil. Sin embargo, una observación más cuidadosa revelará que cuando comienza el proceso de secado, la superficie del producto se calienta al WBT en un corto

período de estabilización. Entonces, el agua comenzará a moverse dentro del producto a la misma velocidad a la que se evapora de la superficie en un período relativamente corto a una velocidad de secado constante. Esta fase continúa hasta que el producto alcanza su contenido crítico de humedad, momento en el que la velocidad de secado comienza a disminuir hasta alcanzar el equilibrio con el contenido de humedad del aire de secado. Después de esto, ya no es posible eliminar el agua del producto mediante este proceso. Todos los cambios estructurales y la mayoría de los cambios sensoriales ocurren al final del período de velocidad de secado constante porque la temperatura del producto, que inicialmente era la temperatura de bulbo húmedo, se mueve hacia la temperatura de bulbo seco. Esto ocurre porque la velocidad del flujo de agua desde el interior a la superficie de los alimentos es menor que la velocidad a la que se evapora en el aire que circula a través de los alimentos; así, la superficie se vuelve más seca.

Equipo principal

La deshidratación de frutas por circulación forzada de aire se puede realizar de varias formas. Se han desarrollado varios tipos de equipos, cuyo uso depende de las características de los frutos a secar, del tipo de instalación de procesamiento, del volumen a deshidratar y, especialmente, de los atributos del producto final secado. La deshidratación industrial en bandejas pequeñas o grandes con circulación de aire forzado es el medio de deshidratación más común en el mercado. Las bandejas son muy flexibles y fáciles de construir y mantener. El equipo consta de un armario con bandejas donde se deshidrata el producto. Las bandejas suelen estar perforadas, lo que permite que el aire fluya en paralelo a la bandeja, tanto por debajo como por arriba. El producto, generalmente en trozos o en rodajas, se coloca en las bandejas.

La geometría de las rodajas de fruta es importante y el tiempo de secado es inversamente proporcional al área de secado. Los purés y pastas a veces se distribuyen en una bandeja completa para que se sequen, pero esto reduce la eficiencia del proceso. Los ventiladores deben asegurar la circulación del aire y una temperatura uniforme en todo el gabinete. La distribución uniforme del calor por toda la cabina es el mayor desafío para este tipo de equipos, especialmente para las grandes secadoras. El calentamiento del aire se puede realizar mediante radiadores, calentadores eléctricos, serpentines de vapor, agua caliente o aire caliente.

Además de la geometría del producto, la velocidad y la tasa de flujo de aire sobre el producto también es importante en el control de la temperatura del aire, que normalmente debe estar entre 60 y 80 °C, y su humedad relativa. El mejor perfil de temperatura para frutas y verduras específicas en el secador debe ser determinado por experiencia tecnológica previa. Algunos productos son sensibles a la formación de una costra en la superficie debido a la desnaturalización de las proteínas, la contracción y la presencia de material fibroso seco. Esto puede provocar la formación de una superficie de sellado en la fruta, lo que evita que se seque el interior. En estos casos, las frutas deben secarse gradualmente utilizando temperaturas más bajas al comienzo del proceso.

La incorporación del soplado explosivo en un proceso de deshidratación con aire caliente facilita una deshidratación más rápida y conduce a un producto final con una estructura altamente porosa que es capaz de una rápida rehidratación. El soplado explosivo ha sido exitoso con rodajas de plátano, así como con frutas templadas como manzanas y arándanos. El proceso comienza con el secado convencional con aire caliente de los trozos de fruta hasta que se alcanza un cierto contenido de agua. Luego se colocan las piezas en una cámara cerrada donde se aumenta la presión mediante vapor sobrecalentado. Después de un tiempo, la presión se

libera repentinamente abriendo la tapa de la cámara. Debido a la alta temperatura y la descompresión repentina, la mayor parte del agua que queda en las partículas se evapora casi instantáneamente. Luego, los sólidos se vuelven a colocar en el equipo de secado al aire para lograr el contenido de agua final deseado. Debido a la estructura altamente porosa de los sólidos después del inflado, el tiempo de secado se reduce notablemente. Los parámetros clave que afectan este proceso son el contenido inicial de agua de las partículas que entran en el proceso de inflado de explosión, la temperatura y presión del vapor en la cámara y el tiempo dentro de la cámara. El contenido de agua inicial óptimo para las rodajas de banano se estimó entre 27 y 38%. En este caso se encontró que el proceso de inflado por explosión disminuyó el tiempo de secado de todo el proceso en un 25%, con un aumento del 10.3% al 46.8% en la porosidad del producto. Este aumento de la porosidad significa que el producto se puede rehidratar fácilmente.

Deshidratación osmótica

La conservación de los alimentos por presión osmótica es una técnica muy antigua. Hasta cierto punto, productos como mermeladas, jaleas y mermeladas se han beneficiado de esta técnica durante muchos años. Sin embargo, lo que debe examinarse es la pre-deshidratación osmótica de los frutos cuando estos se sumergen en una solución concentrada de solutos (generalmente azúcares y sal). Es poco probable que la deshidratación osmótica asegure la estabilidad bioquímica y microbiana, pero el bajo estrés térmico involucrado en el proceso puede minimizar los efectos negativos de otras técnicas de deshidratación, lo que resulta en mejores características organolépticas y sensoriales o al menos en una reducción en el tiempo y costo de algunos procesos. Así, es común que la deshidratación osmótica se lleve a cabo en asociación con otros procesos como liofilización, congelación y secado con aire forzado.

El mecanismo de deshidratación osmótica consiste en la inmersión del producto en soluciones concentradas de sal, azúcares o una combinación de ambos. La pared celular del alimento actúa como una membrana semipermeable que permite la difusión de agua del producto a la solución en una escala mayor que la difusión de la solución sólida en este producto. También se produce la difusión de componentes sólidos del alimento a la solución; sin embargo, esto suele ser insignificante y tiene muy poco efecto sobre características como la textura o el sabor. El proceso también permite el ajuste de la composición química de la fruta reduciendo la cantidad de agua, añadiendo solutos o ingredientes de interés desde el punto de vista nutricional o sensorial, o incorporando aditivos antioxidantes o conservantes.

La selección del agente osmótico depende de su capacidad para disminuir la actividad del agua, el sabor y la textura resultantes, su costo y su seguridad. El azúcar no tiene prácticamente ningún efecto sobre los microorganismos y tiene una acción únicamente osmótica. Por el contrario, cuando se trata de un alto contenido de humedad, el NaCl puede reducir eficazmente la actividad del agua del sistema, y como resultado es responsable de la disminución de la solubilidad del O_2 en el agua (reduciendo los problemas causados por la oxidación y crecimiento de microorganismos aeróbicos), e incurre en un menor costo. Sin embargo, el NaCl también facilita la pérdida de algunos componentes solubles, es incapaz de destruir toxinas y puede transmitir olores indeseables si es impuro.

Los principales factores que influyen en la deshidratación osmótica son la concentración de solutos en la solución osmótica, el peso molecular del soluto, el tiempo de inmersión, la temperatura, la relación entre la fruta y la solución, el contacto entre la solución y la fruta y el sistema de presión, y el pH de la solución.

Secado por atomización por atomización

El secado por pulverización es un método en el que se pulveriza material alimenticio en forma de una suspensión de gotitas (partículas atomizadas) cuyo diámetro es típicamente inferior a 0.25 mm. El secado toma solo unos segundos y el proceso es relativamente económico y ofrece un alto rendimiento en comparación con otros métodos de secado.

El aire de secado se calienta con gas por vapor indirecto, por resistencia eléctrica o por una combinación de estos medios. El aire caliente se mueve a través de los ventiladores de entrada y salida del equipo. La cámara de secado es generalmente de forma cilíndrica, ahusada en la base. La longitud de la cámara varía mucho, desde 4 m para equipos que evaporan alrededor de 80 kg de agua por hora, hasta 20 m para equipos que evaporan más de 1 m³/h de agua. A la salida del equipo suele haber un ciclón donde se produce la separación del producto deshidratado del aire húmedo.

La temperatura del aire de secado a la entrada del equipo está entre 180 y 230 °C, mientras que a la salida varía de 50 a 100 °C. Si bien la temperatura del aire que está en contacto con el producto es alta, la velocidad del proceso asegura la integridad de las características sensoriales y nutricionales del alimento a deshidratar. Al comienzo del secado, la temperatura real del producto es relativamente baja, cercana a la temperatura de bulbo húmedo del aire entrante. A medida que avanza el secado, el producto se deshidrata parcialmente y se vuelve cada vez más resistente a los cambios provocados por el aire caliente (la mayoría de las reacciones de degradación se ralentizan con la disminución del contenido de humedad). De hecho, cuando las gotas salen del atomizador su superficie se seca rápidamente y a un ritmo constante. Los solutos solidificados y los sólidos suspendidos forman rápidamente una costra en la superficie de la partícula, lo que resulta en una disminución en el diámetro de la partícula. Cuando la corteza se solidifica, crea una mayor resistencia al agua y la velocidad de secado disminuye.

El proceso de pulverización debe ser lo suficientemente rápido como para que la partícula pierda humedad antes de llegar a la superficie del equipo y adherirse a ella. Por lo tanto, la velocidad de secado debe tener en cuenta el momento en que las gotas salen del atomizador y golpean la pared del equipo. Los principales parámetros del proceso son la trayectoria y la velocidad de las partículas (determinando el tiempo de secado requerido), la temperatura del aire de secado, el coeficiente de transferencia de calor y el diámetro de la gota.

Deshidratación en secadores de tambor

Los secadores de tambor son uno o más cilindros huecos calentados internamente, que giran sobre su eje horizontal. Los cilindros generalmente se calientan con vapor y su temperatura está controlada. La fruta, generalmente en forma líquida (jugo) o pasta (puré), se agrega a la superficie del cilindro, formando una película en el tambor de acero inoxidable. El espesor de la película se controla inmediatamente después de la adición del producto que se seca cuando el tambor gira a una velocidad predeterminada. Una vez que se completa la rotación, el producto debe secarse y el tambor raspado con cuchillas. El producto deshidratado toma la forma de una película o un polvo granular que generalmente se muele a un tamaño uniforme.

Liofilización

Este proceso consiste en la deshidratación de un producto congelado mediante sublimación de hielo, que se retiene en un condensador. El producto se congela inicialmente por debajo de su punto eutéctico, generalmente fuera del liofilizador. Una vez que el producto está congelado, ingresa al equipo y se deposita en una de varias bandejas dentro de la máquina. La forma del producto puede variar mucho, desde trozos de fruta o fruta entera (normalmente pequeña,

como cerezas y frambuesas), a pastas, purés y jugos generalmente triturados después de la congelación (para aumentar la superficie). Una vez dentro del liofilizador, se crea un sistema de vacío, alcanzando una presión por debajo del punto triple del agua. Sobre las bandejas que contienen el producto se hace circular un fluido calentado, generalmente etilenglicol, que proporciona el calor latente de sublimación por conducción al producto. También se pueden utilizar otras formas de calentamiento por radiación como luz infrarroja y microondas. Se controla el perfil de temperatura en la base de las bandejas, asegurando la máxima velocidad de secado, sin descongelar el producto. En general, la temperatura en la base de la bandeja alcanza los 30 a 40 °C, llegando hasta los 70 °C en algunas situaciones. Un sistema de baja presión asegura que el producto permanezca en estado sólido. A medida que se seca el producto, el vapor de agua se sublima, creando condiciones de sublimación que avanzan a través del producto. Los canales que deja el hielo sublimado facilitan la salida del agua restante. El vapor de agua luego se adhiere a la superficie del condensador que permanece a temperaturas alrededor de - 70 °C. La eficiencia de este sistema de enfriamiento es fundamental para asegurar el éxito del proceso porque cuando el hielo se sublima genera una presión interna en el sistema que podría provocar el descongelamiento de los alimentos. No todo el hielo se elimina del producto por sublimación. Después de que se evapora aproximadamente el 95% del agua, un paso que ocupa del 33% al 50% del tiempo total del proceso, el secado se completa con un proceso de desecación. La liofilización es un proceso relativamente caro. Sin embargo, cuando el producto seco se reconstituye con agua, algunas frutas tienen una estructura esponjosa que se asemeja mucho a la estructura original de la fruta fresca. Además, la rehidratación es más rápida y homogénea, y el producto tiene un color, textura y valor nutricional mejorados en comparación con otros métodos de secado. Los principales parámetros del proceso son la presión en la cámara, la temperatura de las placas, la temperatura del condensador, la disposición de los equipos de transferencia de calor (conducción, radiación) y el espesor del producto o su geometría.

Discusiones

Las técnicas y tratamientos post-cosecha impactan en la apariencia, textura, sabor y valor nutricional de las frutas y verduras, así como en la seguridad y la vida útil. Es común hoy en día para cultivos hortícolas que se transportarán a largas distancias después de la cosecha, no solo dentro de los países sino a través de las fronteras internacionales. A menos que se preste mucha atención a la calidad y los efectos de la manipulación y el almacenamiento, el transporte de larga distancia puede resultar en grandes pérdidas. La demanda de productos agrícolas de alta calidad, limpios y seguros está impulsando a las partes involucradas a preocuparse más por mejorar la calidad post-cosecha y reducir las pérdidas. La expansión del comercio internacional y la creciente demanda de los consumidores de alta calidad también han generado un interés e inversión considerables en el desarrollo de tecnologías de post-cosecha nuevas o mejoradas.

Generalmente, los sistemas de post-cosecha se componen de muchas operaciones interactivas que involucran el manejo del producto desde la cosecha, empaque, empaque, transporte, almacenamiento y manipulación en destino. Operaciones que involucran control de temperatura y humedad relativa, se incorporan en varias etapas de la cadena de suministro. Según la jerarquía de la mitigación de la pérdida y desperdicio de alimentos, las alternativas tecnológicas deben de priorizar la prevención del desperdicio de productos frescos. Una de las alternativas tecnológicas para la prevención es la implementación de cadena de frío, esta debe comenzar desde el campo cuando se cosecha el producto y terminar en el hogar cuando se consume el producto. En general, cualquier procedimiento para reducir roturas en la cadena de

frío tendrá un impacto positivo al maximizar la calidad y vida útil del producto. La gestión de la temperatura es el medio más importante de gestionar la calidad de los productos frescos.

Para el desarrollo energético sostenible en el futuro, el factor crucial es reducir la emisión de dióxido de carbono, reduciendo así el consumo de combustibles no renovables. Para limitar la utilización de combustibles fósiles en el mundo industrializado de hoy, es obviamente necesario involucrar fuentes de energía renovables para suministrar tanto calor de proceso como electricidad en las industrias. La generación de electricidad a partir de energía solar ya se utiliza ampliamente. Pero el suministro de energía térmica para ejecutar las operaciones de procesos industriales es todavía muy limitado en funcionamiento.

La energía requerida por los sistemas de refrigeración puede provenir de fuentes renovables como la energía solar; ya sea mediante sistemas fotovoltaicos o foto-térmicos. Actualmente con la disminución en los precios de los paneles fotovoltaicos, se puede implementar sistemas fotovoltaicos para suministrar la energía requerida por los sistemas de refrigeración convencional. Sin embargo, se deben realizar más investigaciones para mejorar las instalaciones de los sistemas de refrigeración convencional con un enfoque avanzado y procedimientos diseñados para disminuir el consumo eléctrico. En el funcionamiento diario, el sistema de almacenamiento en frío se puede incorporar como una tecnología de almacenamiento alternativa en lugar de utilizar una batería. Esto podría ser rentable porque la inversión inicial en el almacenamiento de energía térmica es mucho menor que la de una batería. Para el sistema de conexión a la red, el sistema de almacenamiento en frío también puede hacer un uso completo de la electricidad durante la noche, lo que permite reducir el costo inicial de la matriz fotovoltaica, así como el costo de operación del sistema de refrigeración en general. Sin embargo, en las temporadas de transición cuando no se necesita refrigeración o calefacción, la electricidad producida por la matriz fotovoltaica debe transferirse a la red o utilizarse para otro propósito. Uso de la electricidad para producir biocombustible como almacenamiento estacional podría ser una solución prometedora para aprovechar al máximo la energía fotovoltaica. Se necesitan más investigaciones y proyectos de demostración para mejorar su aplicación y hacerla más rentable.

Algunas de los procesos post-cosecha de frutas y verduras tanto para productos en fresco como procesados requieren el suministro de energía térmica. Por ejemplo, limpieza, lavado, el secado, cocción pasteurización, esterilización entre otras. Como se ha descrito en los apartados anteriores, el nivel de temperatura requerido para estos procesos va desde el calentamiento de agua para el saneamiento y control de insectos (40-50 °C) hasta la producción de vapor de agua para pasteurización de productos procesados (100-150 °C). La energía solar térmica puede reemplazar el uso de los combustibles fósiles en las aplicaciones del post-cosecha. Los sistemas de conversión de energía emplean una variedad de colectores solares térmicos que acumulan y entregan radiación solar para la generación de calor de proceso.

La selección de la tecnología solar térmica depende principalmente de los requisitos de temperatura del proceso; ya que tiene la mayor influencia en el dimensionamiento del campo del colector. Por lo tanto, los colectores solares térmicos se pueden distinguir por el rango de temperatura entregada. Los requisitos de rangos de temperatura de 30-80 °C pueden alcanzarse con colectores de placa plana, 50-200 °C con colector de tubos al vacío y 60-240 °C con colector parabólico compuesto.

Dentro de las tecnologías post-cosechas que aprovechan la energía solar, destacan los sistemas de secado solar, siendo una tecnología más amigable que las demás opciones de secado convencional, y además, se aprovecha el recurso de la energía solar, que resulta en una mayor



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
CHAPINGO



SITS



eficiencia y menor costo de operación, a comparación de otros métodos de secado. Los deshidratadores solares son una opción viable y económica que contribuye a la reducción de emisiones nocivas al ambiente, que hoy en día son aspectos de suma relevancia para el panorama de la contaminación en el planeta, teniendo la opción de poder aportar al desarrollo de estas tecnologías y darle un impulso extra para que poco a poco este tipo de procesos tomen popularidad en el procesamiento de alimentos. Cabe destacar, que esta tecnología se presenta con mayor detalle en la parte 2 del presente reporte.

Un inconveniente importante de la falta de implementación de sistemas de calentamiento de proceso solar es el costo de capital significativo de instalación, que es una barrera para las industrias de pequeña y mediana escala. Para obtener una visión general clara sobre la eficiencia del sistema de calentamiento de procesos industriales solares, las operaciones de procesos industriales deben analizarse mediante simulación para ver si el calor del proceso solar puede generar la temperatura requerida para hacer funcionar la planta, a lo largo de su tiempo de trabajo por día o durante su vida útil. El análisis de tecno-económico puede dar una indicación a los fabricantes y consumidores si la instalación de un sistema de calentamiento de proceso solar puede ayudar a su negocio o no. Se debe dar una oportunidad a la energía solar incluso si los costos pueden no ser tan favorables, debido al inminente agotamiento de las reservas de petróleo y la inestabilidad de los precios del petróleo.

Conclusión

La temperatura, la humedad y la atmósfera óptimas son fundamentales para el almacenamiento y manipulación de las frutas y verduras. Las condiciones precisas requeridas dependen de la naturaleza del producto individual, el tiempo que se guardará el producto y si el producto está empaquetado o sin empaquetar. El manejo post-cosecha exitoso depende de la calidad inicial del cultivo en el momento de la cosecha, incluido el grado de madurez. También son importantes el manejo cuidadoso para minimizar los daños mecánicos, el manejo adecuado de las condiciones ambientales y un buen saneamiento. Además, se debe reconocer que diferentes frutas y verduras a veces requieren diferentes tecnologías y tratamientos específicos de manejo post-cosecha. La cadena de frío es la tecnología post-cosecha más importante para evitar las pérdidas de las frutas y verduras en fresco desde la granja al consumidor.

No obstante, también se tiene otras alternativas tecnológicas post-cosecha para evitar la pérdida de las frutas y verduras mediante la fabricación de productos procesados. Las nuevas tecnologías pueden permitir una mayor mejora y optimización de los procesos de conservación con el objetivo de obtener productos seguros con alta calidad nutricional y sensorial. Las mismas tecnologías también pueden utilizar una cantidad limitada de energía y servicios públicos, minimizar los residuos y generar menos efluentes. Entre los métodos de conservación, el secado tiene ventajas técnicas y el menor costo asociado para el procesamiento, envasado, transporte y almacenamiento en comparación con los alimentos enlatados (esterilización y pasteurización) y congelados.

La aplicación satisfactoria de las tecnologías de post-cosecha requiere, en primer lugar, la existencia de una infraestructura adecuada y que los productores y comerciantes tengan un conocimiento suficiente de los procedimientos recomendados. La comprensión actual de los efectos de varias tecnologías de post-cosecha se puede incrementar mediante la investigación y el desarrollo en áreas priorizadas.

Prácticamente todas las tecnologías post-cosecha para la preservación de las frutas y verduras en fresco o procesadas requieren el suministro de energía tanto eléctrica como térmica. Estos requerimientos energéticos pueden ser suministrados con sistemas de energía solar. La integración de fuentes renovables a procesos de preservación de frutas y verduras, como el secado, con la finalidad de mitigar las pérdidas post-cosecha, ayudan a enfrentar algunos de los grandes retos de la sociedad actual: seguridad alimentaria y el cambio climático.

Referencias

- Díaz Diez, C. A., y J. A. Bernal Estrada. 2008. *Tecnología para el cultivo del aguacate*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13459>.
- Duan, Yuan, Guan-Bang Wang, Olaniyi Amos Fawole, Pieter Verboven, Xin-Rong Zhang, Di Wu, Umezuruike Linus Opara, Bart Nicolai, y Kunsong Chen. 2020. «Postharvest Precooling of Fruit and Vegetables: A Review». *Trends in Food Science & Technology* 100 (junio): 278-91. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.027>.
- Gustavsson, Jenny, Christel Cederberg, y Ulf Sonesson. 2013. «The Methodology of the FAO Study: “Global Food Losses and Food Waste - Extent, Causes and Prevention”». *SIK Institutet För Livsmedel Och Bioteknik*, 70.
- Hasan Masud, Mahadi, Azharul Karim, Anan Ashrabi Ananno, y Asif Ahmed. 2020. «Sustainable Drying Techniques for Developing Countries». En *Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges*, editado por Mahadi Hasan Masud, Azharul Karim, Anan Ashrabi Ananno, y Asif Ahmed, 81-168. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42476-3_5.
- Hertog, L.A.T.M. 2003. «EXTERNAL QUALITY ASPECTS IN RELATION TO INTERNAL PRODUCT PHYSIOLOGY». *Acta Horticulturae*, n.º 604 (julio): 333-44. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.604.35>.
- Ikram, Hamid, Adeel Javed, Mariam Mehmood, Musannif Shah, Majid Ali, y Adeel Waqas. 2021. «Techno-Economic Evaluation of a Solar PV Integrated Refrigeration System for a Cold Storage Facility». *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 44 (abril): 101063. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101063>.
- Kim, D. S., y C. A. Infante Ferreira. 2008. «Solar Refrigeration Options – a State-of-the-Art Review». *International Journal of Refrigeration* 31 (1): 3-15. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2007.07.011>.
- Langelaan, H.C., Pereira da Silva, Thoden van Velzen, U., y Schroën, K. 2013. *Technology Options for Feeding 10 Billion People :Options for Sustainable Food Processing : Summary*. LU: Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2861/43440>.
- Li, Guoliang, Youhua Han, Ming Li, Xi Luo, Yongfeng Xu, Yunfeng Wang, y Ying Zhang. 2021. «Study on Matching Characteristics of Photovoltaic Disturbance and Refrigeration Compressor in Solar Photovoltaic Direct-Drive Air Conditioning System». *Renewable Energy* 172 (julio): 1145-53. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.110>.
- Mitra, S. K., I. Chakraborty, y P. K. Pathak. 2011. «Postharvest Technology of Tropical Export Produce: Recent Developments and Challenges of a Future Free-Trade World Market». *Acta Horticulturae*. <http://www.actahort.org/>.
- Ornelas-Paz, J.d.J., E.M. Yahia, y A.A. Gardea. 2008. «Changes in External and Internal Color during Postharvest Ripening of “Manila” and “Ataulfo” Mango Fruit and Relationship with Carotenoid Content Determined by Liquid Chromatography-APCl+-Time-of-Flight Mass Spectrometry». *Postharvest Biology and Technology* 50 (2-3): 145-52. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.05.001>.
- Pinto, Nicolás, Juan de la Vega, y Magali Cañarejo. 2016. «Utilización del método de conservación bajo atmósferas controladas en frutas y hortalizas». *Agroindustrial Science* 6 (2): 231-38. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2016.02.08>.

- Prasanna, V., T. N. Prabha, y R. N. Tharanathan. 2007. «Fruit Ripening Phenomena--an Overview». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 47 (1): 1-19. <https://doi.org/10.1080/10408390600976841>.
- Prusky, Dov. 2011. «Reduction of the Incidence of Postharvest Quality Losses, and Future Prospects». *Food Security* 3 (4): 463-74. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0147-y>.
- Rosenthal, A., R. Torrezan, F. L. Schmidt, y N. Narain. 2011. «Preservation and Processing of Tropical and Subtropical Fruits». En *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, editado por Elhadi M. Yahia, 419-85. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857093622.419>.
- Shewfelt, Robert L., Stanley E. Prussia, y Sara A. Sparks. 2014. «Chapter 2 - Challenges in Handling Fresh Fruits and Vegetables». En *Postharvest Handling (Third Edition)*, editado por Wojciech J. Florkowski, Robert L. Shewfelt, Bernhard Brueckner, y Stanley E. Prussia, 11-30. San Diego: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408137-6.00002-8>.
- Wang, Xiang, Maja Matetić, Huijuan Zhou, Xiaoshuan Zhang, y Tomislav Jemrić. 2017. «Postharvest Quality Monitoring and Variance Analysis of Peach and Nectarine Cold Chain with Multi-Sensors Technology». *Applied Sciences* 7 (2): 133. <https://doi.org/10.3390/app7020133>.
- Yahia, E. M., J. De Jesus Ornelas-Paz, y A. Elansari. 2011a. «Postharvest Technologies to Maintain the Quality of Tropical and Subtropical Fruits». En *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, editado por Elhadi M. Yahia, 142-95. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857093622.142>.
- . 2011b. «Postharvest Technologies to Maintain the Quality of Tropical and Subtropical Fruits». En *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, editado por Elhadi M. Yahia, 142-95. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857093622.142>.