



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA

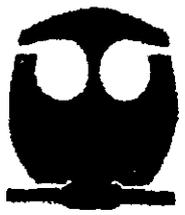
CONGELACIÓN DE FRUTAS

TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS

PRESENTA

KATIA GUADALUPE PÉREZ CASTRO





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

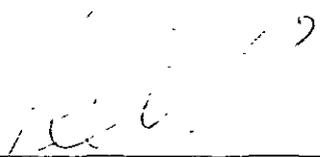
Jurado asignado:

Presidente	Prof. ARTURO NAVARRO OCAÑA
Vocal	Prof. LUIS JOEL LÓPEZ BAJONERO
Secretario	Prof. LUIS ORLANDO ABRAJÁN VILLASEÑOR
1 ^{er} suplente	Prof. LUIS MEDINA TORRES
2 ^o . suplente	Prof. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE

Sitio donde se desarrolló el tema:

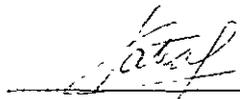
Facultad de Química

Universidad Nacional Autónoma de México



QFB LUIS ORLANDO ABRAJAN VILLASEÑOR

Asesor del tema



KATIA GUADALUPE PÉREZ CASTRO

Sustentante

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México

A aquellos que estuvieron conmigo
y me apoyaron a lo largo de estos años

A Dios, el destino o lo que sea,
que nos permitió conocernos,
a la incertidumbre que rige nuestras vidas...

Índice

1.	Introducción	1
2.	Objetivos	3
2.1.	Objetivo general	3
2.2.	Objetivo particular	3
3.	Antecedentes	4
3.1.	Frutas	4
3.2.	Conservación	11
3.3.	Mercado	15
4.	Congelación	21
4.1.	Generalidades	21
4.2.	Propiedades térmicas de los alimentos	22
4.3.	Fundamento	24
4.4.	Tiempo de congelación	27
4.5.	Velocidad de congelación	31
4.6.	Métodos de congelación	33
4.6.1.	Mecánicos	34
4.6.2.	Criogénicos	37
4.6.3.	Criomecánicos	40
4.7.	Crioprotectores	42
4.8.	Almacenamiento	44
4.9.	Descongelación	46
4.10.	Cadena fría	48
5.	Congelación de frutas	49
5.1.	Generalidades	49
5.2.	Proceso general	56
5.2.1.	Selección	56
5.2.2.	Lavado y desinfección	58
5.2.3.	Maduración	59
5.2.4.	Mondado, pelado, deshuesado y cortado	60
5.2.5.	Escaldado	61
5.2.6.	Envasado y/o embalado	62
5.3.	Aditivos	62
5.3.1.	Crioprotectores	62
5.3.2.	Ácidos	65
5.3.3.	Compuestos de sulfito	66
5.3.4.	Vitaminas	68
5.3.5.	Calcio	68
5.4.	Efectos de la congelación	70
5.4.1.	Enzimas	70
5.4.2.	Sensory	72
5.4.3.	Valor nutricional	78

6.	Casos Particulares	84
6.1.	Bayas	84
6.2.	Fresas	88
6.3.	Cereza	94
6.4.	Mango	97
6.5.	Manzana	102
6.6.	Durazno	105
6.7.	Kiwi	107
6.8.	Piña	109
6.9.	Plátano	111
6.10.	Papaya	112
6.11.	Pera	115
6.12.	Zarzamora	116
6.13.	Aguacate	117
6.14.	Ciruella	119
6.15.	Chabacano	120
6.16.	Frambuesa	121
6.17.	Arándano	121
6.18.	Mora azul	122
6.19.	Chirimoya	123
6.20.	Citricos	124
6.21.	Tomate	125
6.22.	Melón	126
6.23.	Guayaba	127
6.24.	Chile	127
6.25.	Zapote	128
6.26.	Pérsimo	128
6.27.	Fruta de la pasión	128
6.28.	Pacana	129
6.29.	Coco	129
6.30.	Higo	129
6.31.	Fruto del árbol del pan	130
6.32.	Dátil	130
6.33.	Tuna	130
7.	Aspectos sanitarios y legislación	131
7.1.	Envase	131
7.1.1.	Aspectos generales	131
7.1.2.	Materiales de envase	132
7.1.3.	Empaque de fruta congelada	137
7.2.	Microbiología	142
7.3.	Control de calidad	146
7.3.1.	Aspectos generales	146
7.3.2.	Control de calidad antes del procesamiento	148
7.3.3.	Control de calidad en la planta procesadora	154
7.4.	Legislación	165

8.	Análisis de la recopilación bibliográfica	168
9.	Conclusiones	171
10.	Bibliografía	172
	Apéndice	179

Índice de Tablas

3.1. Frutos climatéricos y no climatéricos	5
3.2. <i>Vitaminas y minerales presentes en frutas</i>	6
3.3. Producción consumo y comercio exterior de frutas en México	16
3.4. Producción de las principales frutas procesadas en el mundo en 1990	16
3.5. Producción y valor de la producción de frutas procesadas en México	17
3.6. Consumo estimado de fruta congelada en Estados Unidos en 1994	19
3.7. Importaciones de fruta congelada de Estados Unidos en el período de 1993-1994	19
3.8. Consumo de productos de fruta congelada en Europa en 1994	20
4.1. Ventajas del N ₂ sobre el CO ₂	38
5.1. Cantidad de vitamina C permitido en frutas procesadas	68
5.2. Pérdida de vitaminas en los procesos de enlatado, secado y congelación de frutas	79
7.1. <i>Velocidad de transmisión de vapor de agua de algunos materiales de envase</i>	133
7.2. <i>Velocidad de transmisión de oxígeno de algunos materiales de envase</i>	134
7.3. Principales riesgos asociados a la cosecha y transporte de productos hortofrutícolas	154
7.4. Efecto del manejo y procesamiento de alimentos sobre los microorganismos	155
7.5. Parámetros que afectan los riesgos	155
7.6. Principales riesgos asociados a la recepción y selección de materia prima	157
7.7. Principales riesgos asociados al lavado, desinfección y pelado de la fruta	160
7.8. Principales riesgos asociados a la congelación, almacenamiento y transporte	163
7.9. Principales riesgos asociados a la descongelación	165
7.10. <i>Normas del Codex Alimentarius y secciones del Code of Federal Regulations para fruta congelada</i>	167
7.11. Legislación española referente a productos congelados	167

Índice de Figuras

4.1. Curva de congelación	26
4.2. Esquema de un congelador por inmersión y aspersión	39
4.3. Esquema de un congelador por aspersión	40
4.4. Esquema de un congelador criomecánico	41
5.1. Diagrama general del proceso de congelación de frutas	57

Lista de Abreviaturas

IQF	Congelación rápida individual
PPO	Polifenol oxidasa
POD	Peroxidasa
CG-MS	Cromatografía de gases- <i>Espectroscopia de masas</i>
HPLC	Cromatografía de líquidos de alta resolución
PE	Polietileno
HDPE	Polietileno de alta densidad
LDPE	<i>Polietileno de baja densidad</i>
LLDPE	Polietileno de baja densidad lineal
PET	Polietileno tereftalato
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVDC	Cloruro de polivinilideno
EVA	Acetato de vinil etileno
CFR	Código Federal de Regulaciones de Estados Unidos
HACCP	<i>Análisis de riesgos y puntos críticos de control</i>
PCC	Punto crítico de control
BPA	Buenas prácticas agrícolas
BPM	Buenas prácticas de manufactura

1. Introducción

Debido al interés de consumir productos "naturales", sin conservadores, ni tratamientos que alteren sus características, surge la necesidad de desarrollar tecnologías para abarcar este mercado. El consumo de productos procesados ha ido en aumento en los últimos años puesto que ha sido necesario reducir el tiempo de preparación.

La congelación es uno de los medios de conservación más simple y natural que mantiene a los productos parecidos a los frescos por un tiempo prolongado, deteniendo el crecimiento microbiano y reduciendo el deterioro por reacciones químicas o enzimáticas.

Por medio de la congelación es posible ofrecer productos parecidos a los frescos que están fuera de estación o que no son disponibles en otros países; de lo anterior surge la oportunidad de aplicar esta tecnología a la gran diversidad de frutos con los que cuenta nuestro país, con la finalidad de darles valor agregado en forma de paquetes de fruta congelada para su consumo directo, por ejemplo platos preparados, o para ser utilizada en procesos ulteriores por diversas industrias.

En el presente trabajo se enfoca únicamente a fruta entera, segmentos y purés; puesto que la mayoría de los estudios de investigación se refieren a estos productos. Los jugos congelados no se incluyen pues involucran otras etapas durante el procesamiento, lo que haría necesario realizar un trabajo independiente.

Las frutas en general tienen una pared celular delgada que se rompe con facilidad al ser sometida a procesos de conservación. Las etapas previas a la congelación como el cortado y escaldado pueden dañar los tejidos y producir pérdida de nutrimento, además, la congelación puede afectar la estructura y atributos de la fruta por lo que es necesario determinar medidas que disminuyan los efectos que puede tener a nivel sensorial y nutricional; los factores inherentes a la fruta que influyen en la calidad del producto final son la variedad y el grado de madurez que se relaciona con la firmeza, color y sabor, también se suelen utilizar sustancias crioprotectoras como soluciones de hidrocoloides y jarabes.

Es necesario contar con la infraestructura y equipo necesario, así como determinar las condiciones más adecuadas para cada tipo de fruta. Se han experimentado procedimientos rápidos de congelación (N_2 y CO_2) para intentar preservar la textura natural de las frutas, sin embargo, utilizando los procedimientos más rápidos, estas frutas tienen, una vez descongeladas, una consistencia más blanda que las frutas frescas, lo que lleva al empleo de métodos de congelación combinados.

El almacenamiento del producto congelado es de suma importancia ya que si hay fluctuaciones en la temperatura, puede alterarse la calidad del producto, haciéndolo inaceptable sensorialmente por el consumidor e incluso inseguro microbiológicamente.

Este trabajo consta de una recopilación bibliográfica en la que se abordan los fundamentos de la congelación de alimentos, los métodos de congelación aplicados a frutas, las características de las frutas para ser sometidas a esta tecnología, así como, el proceso para llevarlo a cabo. También aborda la congelación de determinadas frutas a nivel experimental e industrial, los materiales de empaque que se emplean, aspectos sanitarios y la legislación que regula a las frutas congeladas. Todo con la finalidad de brindar las bases necesarias para el desarrollo y elaboración de productos de calidad.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Realizar una revisión bibliográfica exhaustiva sobre el uso de la congelación como método de conservación de frutas.

2.2. Objetivos particulares

- Revisar las fundamentos de congelación para aplicarlos a productos hortofrutícolas.
- Determinar los métodos de congelación más adecuados para frutas.
- Investigar el mercado de frutas congeladas a nivel nacional e internacional.
- Analizar los efectos de la congelación sobre las frutas.
- Analizar los factores que influyen para determinar y mantener la calidad de frutas congeladas.
- Determinar las condiciones y cuidados necesarios para obtener un producto seguro.
- Investigar la legislación existente sobre este tipo de productos.

3. Antecedentes

3.1. Frutas

En sentido estricto, fruto es un órgano exclusivo de las angiospermas por cuanto se liga a la existencia de la cavidad ovárica; en sentido más amplio, fruto es todo órgano vegetal que tras diversos procesos de desarrollo y transformación encierra semillas que posteriormente se dispersan de manera aislada o asociadas a él. Esta definición incluye los frutos de una sola semilla, como los granos de maíz, avena, trigo y otros cereales, igualmente que los tomates, las vainas de los frijoles y chícharos, las nueces y bellotas, y muchas otras estructuras que no se consideran frutos en el sentido popular, pues se hace distinción entre las frutas y vegetales, de acuerdo a sus usos.^{34, 36, 91}

Los frutos vegetales incluyen cultivos como calabaza, tomate chícharo y pepino; los cereales son un tipo de frutos llamados cariósides, las nueces son frutos de una semilla con una cubierta dura. El concepto fruto seco supone que los tejidos que lo componen tienen pequeñas proporciones de agua y sus células están generalmente muertas; por el contrario, los frutos carnosos poseen tejidos ricos en agua y sus células permanecen vivas; dentro de un mismo fruto pueden coexistir porciones secas y carnosas como en los frutos con hueso.³⁵

Comúnmente se agrupan en varias divisiones, dependiendo principalmente de su estructura botánica, respiración, composición química y requerimientos climáticos.^{34, 104}

De acuerdo a su estructura botánica se clasifican en:³⁴

- Bayas (frutas que generalmente son pequeñas y frágiles) incluyen fresas, frambuesa, grosella, arándano, mora azul y zarzamoras.
- Drupas (frutas con hueso): tienen una semilla, incluyen chabacanos, cerezas, duraznos y ciruelas.
- Pomos (frutas con pepita), tienen varias semillas y las representan las manzanas y las peras.
- Cítricos como las naranjas, toronjas y limones por su alto contenido de ácido cítrico.

De acuerdo a los requerimientos climáticos se clasifican en^{34, 104}

- Templada: peras, manzanas, duraznos, nectarinas, ciruelas y bayas.
- Subtropicales: frutos cítricos y no cítricos como el aguacate, higo, chirimoya y kiwi.
- Tropicales: mayores como plátano, mango, piña y papaya y menores como carambola, fruta de la pasión, guayaba, tamarindo y zapote.

Los frutos pueden clasificarse por su respiración como climatéricos y no climatéricos (tabla 3.1.); la mayoría de las frutas pulposas muestran un aumento característico en la velocidad de respiración que más o menos coincide con los cambios obvios en color, sabor y textura que caracterizan la maduración; los frutos que siguen este patrón se clasifican como frutos climatéricos; es muy importante este aumento ya que determina el final de la maduración óptima y el inicio de la senescencia. La maduración de los frutos clasificados como no climatéricos procede más lento; en frutas climatéricas una concentración de etileno de 0.1-1 ppm inicia el pico climatérico, pero el etileno no influye en la velocidad de respiración una vez que el climaterio ha iniciado, esto contrasta con los frutos no climatéricos cuya velocidad de respiración depende de la concentración de etileno y declina cuando el etileno se remueve. La relación entre el aumento climatérico y los índices de maduración no siempre es perfecta; a pesar de que el aumento climatérico y la maduración ocurren simultáneamente en varias frutas, existe evidencia de que estos eventos ocurren por separado.^{36, 45}

Frutos climatéricos		Frutos no climatéricos	
manzana	ciruela	naranja	mora azul
pera	tomate	limón	toronja
kiwi	aguacate	piña	fresa
chabacano	fruto del árbol del pan	ciruela de java	cacao
fruto de la pasión	papaya	litchi	pepino
sandía	plátano	oliva	tamarindo
tomate	melón cantaloupe	melón	uva
guayaba	mango	cereza	zarzamora
higo	chirimoya	frambuesa	arándano
nectarina	zapote	mandarina	
durazno	pérsimo		

Tabla 3.1. Frutos climatéricos y no climatéricos (Fennema, 1993; Herrero, 1992; Somogyi, 1996)

En general, los frutos no climatéricos maduran en la planta y contienen una menor proporción de almidón. Normalmente los frutos climatéricos se recolectan antes de la subida climatérica y se

almacenan en condiciones controladas cuidadosamente para que aquélla no tenga lugar. Cuando se precisa enviarlos al mercado se induce artificialmente el climaterio, un tratamiento de etileno resulta en una maduración acelerada y uniforme.¹⁰⁴

Los frutos no climatéricos producen pequeñas cantidades de etileno y no responden a un tratamiento de etileno, excepto en términos de degradación de clorofila en cítricos y piñas.

El etileno funciona como una hormona vegetal, su forma de actuar es poco conocida pero está ligada a una modificación de la permeabilidad de las membranas mitocondriales. Es fundamental controlar el etileno del medio ambiente en la postcosecha para alargar el período de vida de conservación y no obtener pérdidas excesivas.⁴⁵

La mayoría de las frutas tienen un alto contenido de agua, baja cantidad de proteína (0.2-1.3%) y grasa (0.5%). El contenido de agua es frecuentemente mayor al 85%; existen excepciones a estos valores típicos como los dátiles que son bajos en contenido de humedad que no se consideran como frescos. Los principales ácidos que se encuentran en los frutos son el cítrico, málico y tartárico, la acidez suele disminuir después de recolectados, oscilando el pH entre 2.5 y 4.5. Son fuente importante de carbohidratos, vitaminas y minerales.^{45 55}

Las frutas frescas en general aportan el 91% de vitamina C, 48% de vitamina A, 27% de vitamina B₃, 17% de tiamina y 15% de niacina. En la tabla 3.2. se muestran las frutas que aportan los principales micronutrientes.¹⁰⁴

Micronutriente	Frutas
Vitamina A	Durazno, cereza, naranja, sandía, melón.
Vitamina C	Guayaba, naranja, fresa, toronja, plátano, manzana, melón.
Niacina	Durazno, plátano, naranja.
Riboflavina	Plátano, durazno, naranja, aguacate.
Tiamina	Naranja, plátano, toronja, manzana.
Potasio	Plátano, durazno, manzana, naranja.
Fósforo	Plátano, durazno, naranja, pasitas.
Calcio	Mandarina, toronja, naranja.
Hierro	Fresa, plátano, manzana, naranja.

Tabla 3.2. Vitaminas y minerales presentes en frutas (Somogyi, 1996)

Los atributos de calidad de frutas incluyen apariencia, color, tamaño, firmeza, jugosidad y sabor, entre otros. El tiempo total entre la cosecha y el procesamiento es un factor importante para mantener su calidad y frescura.¹⁰⁴

La estructura, sabor y valor nutrimental de la fruta fresca está relacionada con el contenido de carbohidratos y ácidos. La glucosa, sacarosa y fructosa son los azúcares principalmente encontrados en frutas. Los azúcares se encuentran principalmente en el citoplasma en un rango de 0.9% en limas a 16% en higos frescos; los contenidos de sacarosa varían de trazas en cerezas y uvas a más de 8% en plátanos maduros y piñas.¹⁰⁴

Los ácidos desempeñan un papel importante en la vida de los frutos, siendo un factor de resistencia contra los hongos y contribuyen a desarrollar la calidad gustativa y nutrimental (ácido málico y ácido ascórbico).⁴¹

La turgencia es la rigidez de las células vegetales debida al agua; se determina por las fuerzas osmóticas y juega un papel importante en la textura de las frutas, las paredes celulares de los tejidos vegetales tienen varios grados de elasticidad y son muy permeables al agua, iones y pequeñas moléculas. Las membranas son semipermeables, lo que les permite dejar pasar agua y son selectivas para transferir materiales disueltos o suspendidos. Las vacuolas contienen la mayor parte del agua y los azúcares, ácidos, sales, aminoácidos, algunos pigmentos y vitaminas solubles en agua y otros constituyentes de bajo peso molecular están disueltos. La presión osmótica de las vacuolas y protoplastos, empuja las paredes celulares y causa que se estiren ligeramente, de acuerdo a sus propiedades elásticas; esta situación es la que le da a la fruta sus características de succulencia.^{54, 55}

Cuando los tejidos vegetales se dañan o mueren por almacenamiento, congelación, cocción u otras causas, se da un importante cambio que resulta en la desnaturalización de las proteínas de las membranas celulares, resultando en la pérdida de su permeabilidad selectiva; entonces, la presión osmótica en las vacuolas y protoplastos no existe, el agua y sustancias disueltas se liberan y difunden fuera de las células, dejando suave al tejido remanente.³⁴

El contenido de minerales está influenciado por las características de la especie, así como por las prácticas agronómicas. Los elementos minerales más abundantes en plantas son potasio, calcio, magnesio, hierro, fósforo, azufre y nitrógeno. Un desequilibrio de composición o el contenido de ciertos elementos minerales puede ser la causa, o puede favorecer daños fisiológicos durante la frigoconservación.^{35 45}

La pared celular se puede dividir en tres capas: lamela media, pared celular primaria y pared celular secundaria, y la cantidad presente de pectina disminuye en ese orden; encontrándose también en los espacios intercelulares.¹⁰⁵ Son de gran importancia por lo que se refiere a textura y turgencia de los frutos.^{35 45}

Las sustancias pécticas insolubles en agua funcionan como cemento y se encuentran en la lamela media, ayudando a mantener unidas las células del tejido. Durante su hidrólisis, la pectina soluble en agua puede formar geles o suspensiones coloidales viscosas con azúcares y ácidos; algunas sustancias pécticas solubles en agua también reaccionan con iones metálicos, particularmente calcio, para formar sales insolubles en agua como pectatos de calcio, incrementando la rigidez estructural por lo que es una práctica comercial agregar bajos niveles de sales de calcio a las frutas antes de procesarlas, las sustancias pécticas influyen en la textura de las frutas.³⁴

El calcio se encuentra normalmente en la pared celular formando puentes entre los residuos de ácido galacturónico perteneciente a las cadenas pécticas adyacentes; el complejo calcio-pectina funciona como un cemento intracelular para dar firmeza al tejido vegetal. La presencia de calcio, además de favorecer la insolubilidad del material péctico, inhibe su degradación por la poligalacturonasa. Durante el proceso de maduración, el catión calcio se transloca a las partes en crecimiento de las plantas, que se relaciona a la solubilización y degradación del material péctico de la lamela media, causando el ablandamiento de los frutos. La desesterificación, necesaria para la formación de los puentes de calcio, es catalizada por la pectinesterasa, que requiere ciertas concentraciones de iones metálicos, que junto al potencial electrostático de la pared celular regulan su actividad.^{3 4}

El color es un factor muy importante en la aceptación de frutas. Los pigmentos se clasifican en tres grupos principales que incluyen las clorofilas, carotenoides y flavonoides (antocianinas y antoaninas).³⁴

Las clorofilas se encuentran principalmente dentro de los cloroplastos; es altamente inestable y cambia de color de verde olivo a café, debido a su conversión a feofitina, esta reacción se favorece a un pH ácido; la adición de sales de magnesio puede reducir la conversión de clorofila a feofitina, pero el pH alcalino tiende a suavizar la celulosa y la textura. A medida que la fruta madura, la clorofila se degrada y desaparece formándose los carotenoides y los flavonoides propios de cada especie. En aguacates, peras, uvas, melón y kiwis se retiene en el fruto maduro; forman el color básico de frutas como manzanas y peras, mientras que otras frutas aparecen totalmente verdes; se encuentra en grandes cantidades en la cáscara de frutas verdes como la lima y en la pulpa del kiwi.^{34, 45, 56, 85}

Los carotenoides son solubles en grasa y tienen un rango de color del amarillo, pasando por el naranja hasta el rojo; frecuentemente se encuentran dentro de los cloroplastos, igual que las clorofilas pero pueden encontrarse en otros cromoplastos o libres como gotas de grasa. Coexisten como hidrocarburos y sus derivados oxigenados: las xantofilas. Son más abundantes en la piel de la fruta que en la parte carnosa.⁴⁵ La mayor importancia de algunos carotenos es su relación con la vitamina A. una molécula de β -caroteno se convierte en dos moléculas de vitamina A, el α -caroteno, γ -caroteno y la criptoxantina también son precursores de la vitamina A. Son muy sensibles a la oxidación que resulta en la pérdida de color y destrucción de la actividad vitamínica. Varían desde niveles bajos en fresas (0.4 $\mu\text{g/g}$) y arándanos (5-8 $\mu\text{g/g}$), a niveles elevados en tomates (922-1700 $\mu\text{g/g}$) y mangos (89.2-125 $\mu\text{g/g}$)^{34, 56}

Carotenoides importantes incluyen los de chabacanos, duraznos, cítricos y calabaza; el licopeno del tomate, sandía y chabacano; y la xantofila amarillo-naranja de durazno y calabaza.⁸⁵

Las xantofilas pueden ser consideradas como derivados oxigenados de los carotenos; se presentan generalmente como ésteres de ácidos grasos, la criptoxantina es uno de los principales pigmentos de la papaya y la mandarina, la criptoxantina y la luteína se encuentran en la cáscara de naranja bajo la forma de ésteres.¹⁵

Los flavonoides ocurren como glicósidos solubles en agua, formados principalmente por glucosa, arabinosa, galactosa y xilosa; incluyen el morado, azul y rojo de las antocianinas de uvas, bayas y cerezas, el amarillo de las antoxantinas de las manzanas y el incoloro de las catequinas y leucoantocianinas que están formados de taninos y se encuentran en manzanas, y uvas.^{34, 56}

Las antocianinas están disueltas en el jugo celular, aunque también pueden encontrarse en la piel del fruto.⁴⁵

Los flavonoides son de color amarillo, pero participan muy poco en la coloración amarilla.⁴⁵

Los polifenoles proveen diferentes funciones a los alimentos, incluyendo el color y astringencia. La astringencia de varias frutas es causada por la interacción de taninos con las membranas mucosas de la boca. En la mayoría de los casos son incoloros pero al reaccionar con iones metálicos forman complejos oscuros que pueden ser rojos, café, verde gris o negro; reaccionan para producir oscurecimiento enzimático cuando se ha comido la fruta.^{35, 57, 85}

Algunos fenoles son ligeramente tóxicos y han causado efectos graves en animales, algunos son mutagénicos y algunos son antioxidantes naturales. En la mayoría de los casos, los humanos tienden a seleccionar alimentos con bajo contenido de fenoles cuando seleccionan con base en textura (lignina) y astringencia (taninos), pero obtienen un alto contenido de fenoles cuando seleccionan por color (antocianina) y frescura.⁵⁷

El aroma es el resultado de una mezcla de elementos volátiles (ésteres, aldehídos, cetonas, terpenos y otros) que se encuentran en pequeñas cantidades. El aroma de las manzanas maduras se debe a la presencia de 2-metil-bufirato de etilo, de las peras a los ésteres de ácido acético, propiónico y butírico y de duraznos a lactonas de oxiácidos de cadena larga; el 2,6-nonadienal es característico del pepino y el amil acetato de plátano.^{35, 45}

3.2. Conservación

Las frutas y hortalizas, por su naturaleza biológica, nivel de consumo y comercialización están en relación directa con el grado de desarrollo de los países.⁹³

La seguridad alimentaria consiste en el acceso físico y económico del consumo de alimentos seguros y nutritivos en cualquier tiempo y a toda la población para mantener una vida activa y saludable ⁸²

En países en desarrollo la agricultura es muy importante por lo que la industrialización debería ser igual de importante ya que durante la postcosecha hay considerables pérdidas que se destinan a consumo animal o se pudre, debido a que se le da poca atención a la cadena que tiene que atravesar el producto para llegar al consumidor.^{34, 82}

Para abastecer de alimento y reducir la pobreza en la población, que se estima alcance los 8.3 billones de personas en el año 2025, el mundo necesita incrementar la producción agrícola y mejorar los sistemas de postproducción y distribución. El interés científico se ha enfocado a la elaboración de programas de desarrollo de nuevas variedades de alto rendimiento, resistentes al deterioro para reducir las pérdidas después de la cosecha, ya que raramente se toman en cuenta las consideraciones de postproducción o actividades postcosecha como manejo, almacenamiento, procesamiento, preservación, mercadeo y distribución.⁸²

La tecnología postcosecha se refiere a la organización global del proceso de tratamiento o conjunto de métodos de conservación, envasado y transporte del producto desde su recolección hasta el acto final del consumo, con el objetivo de conservar el producto durante un período prolongado, manteniendo al máximo su calidad, características sensoriales, nutritivas y sanitarias, al tiempo que se reducen pérdidas y se minimiza el costo del proceso.⁹³

Las pérdidas postcosecha deben prevenirse y son críticas para lograr el éxito de la seguridad alimentaria. Muchos de los alimentos que se producen nunca son consumidos por las pérdidas que ocurren en la cadena postcosecha y porque la producción no corresponde a la demanda del

consumidor, lo que puede llevar a la sobreproducción y por ende a más pérdidas.⁶²

La prevención de la pérdida postcosecha es un reto para los gobiernos, agencias no gubernamentales, organizaciones de desarrollo internacional, compañías de alimentos, otras corporaciones privadas y, sobre todo, a los científicos y tecnólogos en alimentos; algunos de estos retos son el desarrollo de mejores métodos de preservación para minimizar las pérdidas por descomposición y el desarrollo de nuevas tecnologías y su transferencia a la industria privada.⁶²

Las frutas se descomponen fácilmente; las principales causas de descomposición incluyen el crecimiento de microorganismos, la acción natural de las enzimas, reacciones químicas, cambios estructurales y las condiciones de almacenamiento. El contenido de humedad, temperatura, concentración de oxígeno, nutrientes disponibles y la presencia de inhibidores son algunos de los factores que pueden controlar la descomposición microbiana.

Las pérdidas postcosecha de las frutas ocurren durante la recolección, almacenamiento, transporte, preparación para la venta, venta al menudeo e incluso a nivel del consumidor. Las pérdidas normalmente son por daños por parásitos, desórdenes fisiológicos, daño mecánico y fruta sobremadura.⁶³

Las pérdidas postcosecha de papaya llegan hasta el 75% en barcos hawaianos y se asocian a un almacenamiento de más de 3 semanas a 10°C o menos. Los desórdenes no patológicos se observan una vez que los frutos se encuentran en los mercados; los frutos pueden sufrir el ablandamiento por daño mecánico y la baja cantidad de calcio al cosechar provoca que la fruta madure en la mitad de tiempo normal, así que al llegar al mercado final está sobremadura. Los defectos que presentan incluyen pudrición por hongos, piel con áreas hundidas, decoloración, ablandamiento, despellejamiento, puntos café en la piel y magulladuras en la pulpa.⁶³

Las frutas y vegetales deben protegerse de los cambios deteriorativos lo más pronto posible a partir de la cosecha, las frutas frescas deben manejarse con cuidado para minimizar los daños mecánicos; la descarga en agua o tanques de flotación puede usarse para frutas que deben mantenerse húmedas, el almacenamiento adecuado del producto fresco y su conservación pueden sumarse al

valor agregado de los productos y hacerlos disponibles para todo el año.^{58, 104}

Para mantener el valor nutricional, propiedades organolépticas y seguridad microbiológica de productos vegetales existen diferentes métodos prácticos para reducir el deterioro, sin embargo, la clasificación de los métodos para reducir el deterioro presenta algunas dificultades porque sus efectos de preservación son fenómenos complejos que raramente suceden aislados:³⁴

- Métodos Físicos: refrigeración, congelación, disminución del contenido de agua, irradiación, alta presión, vacío gases inertes, pasteurización, esterilización.
- Métodos Químicos: adición de azúcar, acidificación artificial, adición de alcohol.
- Métodos Bioquímicos: fermentación láctica y alcohólica.

Existen dos principios básicos para la prevención de la descomposición microbiana para mantener la calidad de frutas y verduras; el primero consiste en destruir los microorganismos contenidos en la estructura y prevenir la recontaminación posterior del producto, como es el caso de enlatado y envasado aséptico; el segundo principio consiste en alterar el ambiente para prevenir o retardar el metabolismo de los microorganismos, como es el caso de la refrigeración, congelación y uso de atmósferas.^{42, 55}

Prácticamente cualquier fruta o vegetal puede ser procesado, pero algunos factores a considerar son ³⁴

- Demanda del producto procesado.
- Calidad de la materia prima
- Abastecimiento regular de la materia prima.

Los alimentos mínimamente procesados son los que han sido cosechados, lavados, cortados, posiblemente escaldados y reducido su temperatura para prolongar la retención de su calidad. Esencialmente el mínimo procesamiento para permitir su distribución bajo condiciones controladas para asegurar que el producto llegue lo más fresco posible.¹⁸

Las frutas tropicales es son consumidas comúnmente como frutas frescas, sin embargo, tienen un periodo de vida útil muy corto después de su cosecha. Dada su abundancia y calidad potencial, se ha despertado el interés en el mercado internacional, además de ser importantes en los mercados nacionales. El dar valor agregado a estas frutas incrementa las posibilidades de exportación a países desarrollados, con la ventaja de que al ser frutas exóticas pueden venderse a buen precio. Sin embargo, al ser largo el periodo de crecimiento y por el clima de estas regiones pueden desarrollarse plagas y por lo mismo pérdidas, entonces, es necesario tener un control desde el cultivo, cosecha y procesamiento. Las operaciones para dar valor agregado a las frutas tropicales pueden ser procesos térmicos, congelación, deshidratación, concentración, fermentación, irradiación, entre otros.¹¹

Las limitaciones a los tratamientos químicos impuesta por la legislación y los consumidores, obligan al desarrollo de tecnología de tipo físico no contaminante.⁹³

Es una realidad la necesidad de la tecnología del frío en la conservación de los alimentos perecederos, como es el caso de las frutas, especialmente en los países latinoamericanos, donde se pierden grandes cantidades de materias primas, por una inadecuada manipulación posterior a la cosecha.⁷⁸

Las bajas temperaturas, cercanas al punto de congelación del agua, son efectivas al reducir la velocidad de respiración y constituyen un método de preservación por corto tiempo, puede combinarse con un almacenamiento en atmósfera con dióxido de carbono, dióxido de azufre, etc., de acuerdo a la naturaleza del producto. El almacenamiento a baja temperatura y transporte de frutas tropicales bajo condiciones refrigeradas no ha ganado mucha popularidad por los daños por frío que se caracterizan por pérdida de color, sabor, incapacidad de madurar, etc.^{34, 58}

Se ha observado que al aplicar un pretratamiento térmico, con aire caliente a 38°C durante un periodo de 12 a 18 horas, para disminuir la carga de microorganismos, se reduce la sensibilidad de los frutos a sufrir daños por frío, mientras que en algunos frutos como pepino y tomate no se observa beneficio. El tratamiento térmico no debe ser excesivo ya que puede haber daños por

calentamiento; en el caso de mango y papaya el desarrollo de color es pobre, ablandamiento anormal, descenso de la degradación de almidón y desarrollo de cavidades internas con ciertas partes duras. en el caso de nectarinas y lychee hay oscurecimiento. Es importante destacar que si los frutos se almacenan a baja temperatura después del tratamiento térmico, los daños por calor se confundirían con los daños por frío.⁷¹

En el caso de la tuna, la conservación por frío es el único método capaz de conseguir que el sabor, olor y aspecto apenas se diferencien del género fresco. La frigoconservación ayuda a disminuir la velocidad de pérdida de firmeza y grados brix, además de disminuir la deshidratación y mantener la apariencia, sin embargo, la fruta presenta daños por frío al ser almacenada a 8 y 10°C, provocando manchado, picado de la piel, así como cambios de textura y color, pero, principalmente promueven alteraciones en el metabolismo inherente a la respiración y biosíntesis de etileno.⁵

La distribución de los alimentos conservados por frío no es suficiente para la cantidad de producto disponible, pues no se tiene un control efectivo de la temperatura.¹⁸

El nivel de calidad del producto está determinado por las condiciones naturales y técnicas de producción, prácticas de conservación y otros servicios añadidos que dependen del nivel de desarrollo de infraestructura y capacidad tecnológica de cada área de producción.⁹³

3.3. Mercado

México es un país con gran variedad de frutas; en la tabla 3.3. se muestra la producción, consumo y comercio exterior de los principales cultivos durante 1997. Las exportaciones de hortalizas frescas al mercado de Estados Unidos en época de invierno continuarán en aumento, aprovechando sus insuperables condiciones agroclimáticas favorables para su producción como es el caso de tomate y pepino.⁹⁷

Las frutas que se producen en mayor cantidad a nivel mundial se muestran en la tabla 3.4., es importante destacar que en los últimos años el kiwi se ha popularizado en el mercado internacional y la producción de frutas tropicales es una industria que está creciendo rápidamente: plátano, mango, piña y papaya son las frutas tropicales de importancia comercial.⁹⁵

En la tabla 3.5. se muestra la producción y valor de frutas procesadas en México durante 1997.^{19, 51}

Es interesante resaltar que hay diferencias en las cifras que maneja cada institución.

La producción de jugos y néctares abarca los elaborados a partir de mango, naranja, piña, uva, manzana y durazno.

Fruta	Imp (ton)	Exp(ton)	Producción (Miles de ton)	Consumo	
				Nacional (Miles de ton)	Percápita (kg)
Aguacate		34,173	762	713	7.61
Chabacano	355	12	2	2	0.03
Ciruela			77	75	0.80
Dátil	266	313	2	1	0.02
Durazno	22 208	35	128	151	1.58
Fresa	3,741	18,504	38	86	0.88
Guayaba			180	179	1.89
Limón			1,095	744	
Mango		112,544	1,501	1,314	14.6
Mandarina			195	191	
Manzana	115,421	1,059	629	743	7.84
MeiÓN	2,183	106.818	590	371	5.12
Naranja			3,954	2,873	
Nuez			52	49	
Papaya		38.925	594	555	5.84
Pera	41.670	26	37	79	0.83
Piña	1,122	24.967	391	373	3.87
Plátano	6	154,630	1,714	1,474	16.31
Tomate rojo	25 872	2 224,140	3,316	1,721	18.1
Uva			380	436	
Total			15,647	12,130	

Tabla 3.3 Producción, consumo y comercio exterior de frutas en México.
(CEA, 1998, INEGI, 1998)

Fruta	Producción (1000 MT)	Fruta	Producción (1000 MT)
Uva	59,943	Ciruela	6,518
Naranja	52.216	Durazno	8,586
Plátano	45.685	Papaya	3,866
Manzana	40.226	Fresa	3,362
Mango	15.053	Chabacano	2,162
Piña	9.791	Aguacate	1,459
Pera	9 675		

Tabla 3.4. Producción de las principales frutas cultivadas en el mundo en 1990 (Salunkhe, 1995)

Producto	Producción (ton)		Valor (miles de pesos)	
	Canainca	INEGI	Canainca	INEGI
Pasta y puré de tomate	67,065	92,084	488,065	685,187
Salsas y condimentos	92,026		814,573	
Jugos y néctares	672,509		3,588,169	
Chiles	273,739	252,645	1,495,701	1,959,057
Fruta en almibar	51,264		426,636	
Mermeladas	16,368	46,399	227,426	524,444
Frutas y legumbres deshidratadas				316,257
Fresa congelada		22,350		160,151
Bebidas fermentadas de uva				503,250
Bebidas destiladas de uva				2,525,980
Productos secundarios, desechos y subproductos.				2,263,014
Concentrados para la elaboración de refrescos de frutas		12,192		1,197,810
Jugos concentrados		30,675		505,682

Tabla 3.5. Producción y valor de la producción de frutas procesadas en México (Canainca, 1998; INEGI, 1998)

En el área de frutas procesadas, el país no es competitivo en conservas y jugos concentrados de frutas de clima templado frío por tener limitaciones de carácter agroclimático; por ello los productos que se importan preferentemente son conservas de durazno, chabacano, pera, cerezas, ciruelas, etc. En el sector de pulpas de fruta se espera un incremento de las importaciones de concentrados de las mismas frutas, tales como purés de manzana, jugos concentrados de manzana y posiblemente de bayas.⁹⁷

El país está en condiciones de aumentar notablemente sus exportaciones de frutas en conserva como piña, mango, segmentos de toronja y otras frutas subtropicales, como litchi y mandarina en que se requiere primeramente aumentar la superficie de producción.⁹⁷

México continuará exportando hortalizas congeladas cuyos cultivos son intensivos en mano de obra, en especial en la cosecha, como es el caso de las fresas congeladas, que en el periodo de enero a septiembre de 1999 aportaron 45.8 millones de dólares.^{52, 97}

La exportación de productos congelados y de purés concentrados y envasados asépticamente también pueden incrementarse en la medida que exista mayor disponibilidad y excedentes de materia prima, lo que aún no ocurre y está frenando la expansión de estas agroindustrias.⁹⁷

La tasa media de crecimiento en el consumo de productos congelados es del 12% anual en los países desarrollados y las exportaciones de los países latinoamericanos han aumentado al poner a disposición de los mercados europeos y asiáticos, productos frescos que no son disponibles en esos países o bien, están fuera de estación.⁷⁴

En países en desarrollo la velocidad de crecimiento de este sector es lenta, ya que los productos congelados requieren inversiones costosas para transporte y almacenamiento para llegar a los centros de distribución.⁶⁵

El reto para la industria de congelados es grande, pero promete satisfacciones; el consumo per cápita en nuestro país es bajo, tal vez no alcanza 200 g/año, en Estados Unidos, en cambio, el mismo indicador es de 2 500 g.⁷⁶

Los productos alimenticios congelados con valor agregado están ganando una buena porción del mercado y esa tendencia continuará en el futuro inmediato. Existe un crecimiento sin precedentes en los países del tercer mundo, los cuales están desarrollando su infraestructura del frío.⁹⁰

Se ha incrementado el interés de las industrias por la exportación de frutas frescas tropicales congeladas individualmente (IQF).

El mercado de fruta congelada en Estados Unidos es pequeño pero vital (Tabla 3.6.), sus importaciones han aumentado (Tabla 3.7.) y el consumo de paquetes de productos misceláneos se incrementó un 26.5% con respecto a 1994. La producción de fruta congelada fue de 547,848 ton, teniendo un valor de \$1,414 millones de dólares.⁷

Las exportaciones de Estados Unidos se limitan a fresas, moras azules y otras bayas.⁷

El mercado de aguacate congelado en Estados Unidos se estima de 22.700 ton, el 90% se destina al mercado institucional, mientras que en Europa se consume con dificultad por no ser muy conocido.¹⁰²

Fruta	Consumo (ton)
Cerezas	9,240
Ciruelas	590
Chabacano	9,096
Durazno	51,036
Frambuesa	14,950
Fresa	218,215
Manzana	45,854
Misceláneos *	86,549
Mora azul	65,292
Puré no cítrico **	31,561
Zarzamora	12,113

* Frutas mixtas, cereza, naranja, pera, piña, sandía.
 ** Incluye puré de manzana, chabacano, plátano, zarzamora, mora azul, cereza, arándano, grosella, quayaba, uva, durazno, ciruela, frambuesa y fresa.

Tabla 3.6. Consumo estimado de fruta congelada en Estados Unidos en 1994.

(The frozen food almanac, 1995)

Fruta	Importación (ton)
Fresa	27,608
Frambuesa	3,065
Mora azul	10,283
Otras bayas	547
Plátano	5,056
Frutas tropicales y melones	10,289
Frutas, nueces y bayas	5,221
Coco	4,950

Tabla 3.7. Importaciones de fruta congelada de Estados Unidos en el período 1993-1994.

(The frozen food almanac, 1995)

Las importaciones de Inglaterra de fruta congelada aumentaron gradualmente de 5,500 a 6,000 ton en el primer trimestre de 1997 y 1998 respectivamente; el mercado de frambuesa y grosella alcanzó 1,900 ton; estas frutas se obtienen de Francia, Holanda y Chile. Las exportaciones de Chile a Inglaterra alcanzaron 1 millón de dólares en el primer trimestre de 1998.²

Inglaterra demanda frutas de alta calidad, proveedores de otros países están en una buena posición para incrementar sus ventas, especialmente si la libra sigue estando igual de fuerte, ya que sus exportaciones han caído por el valor de su moneda.²

En 1996 las cerezas congeladas eran de considerable importancia, teniendo ingresos de hasta 8,500 ton. La demanda de fruta congelada parece aumentar sus ventas para los próximos años, creciendo significativamente con proveedores extranjeros.¹

En la tabla 3.8 se muestra el consumo de frutas congeladas en países europeos.

Pais	Consumo (ton)	Cambio respecto a 1993 (%)
Alemania	25,760	+6.4
Austria	1,800	+33.3
Dinamarca	1,581	-26.9
Finlandia	3,192	+7.0
Francia	7,000	
Holanda	500	-
Italia	1,480	+23.0
Noruega	650	
España	5 900	+18.0
Suiza	5,500	
Suecia	3,664	-9.1

Tabla 3.8. Consumo de productos de fruta congelada en Europa en 1994.

(The frozen food almanac, 1995)

En Japón la producción de fruta congelada en 1993 y 1994 fue de 2,500 y 2,855 ton respectivamente.⁷

Los supermercados y productores de alimentos orgánicos se han enfocado a asegurar que sean una alternativa a los productos convencionales y se ha reflejado en un aumento en las ventas de estos productos, de ahí, las industrias de congelados buscan partir de materia prima orgánica (cultivo libre de pesticidas y producto libre de aditivos); los mercados industriales y al menudeo de este tipo de productos se encuentran en Alemania, Japón, Inglaterra, Holanda, Austria, Suiza y Francia.⁸

4. Congelación

4.1. Generalidades

La tecnología de la congelación puede ser una de las respuestas a la alimentación del futuro, ya que concentra diversas ventajas sobre los demás métodos de conservación y además de sencillo, resulta ventajoso para la economía de productores y consumidores.⁷⁶

Uno de los objetivos principales de los productos congelados es reducir los tiempos de preparación; anteriormente, los restaurantes y comedores industriales destinaban 50% del establecimiento a la cocina y 50% para las mesas, gracias a los congelados se redujo el tamaño de las cocinas con la ventaja adicional de generar menor cantidad de desechos. En un inicio los congelados se dirigieron principalmente a grandes comedores, y hoy, son demandados por la mayoría de consumidores, pues el actual ritmo de vida obliga a hacer uso de alternativas más prácticas, por tanto, en los hogares han alcanzado gran penetración.⁷⁶

Dada la tendencia a consumir productos orgánicos (incluso la USDA los considera más naturales, nutritivos y seguros), o en su defecto, los que han sido tratados lo menos posible, la congelación es considerada como uno de los medios de conservación más simple y natural que mantiene a los productos frescos por un tiempo prolongado.⁸⁰

Algunos de los atributos de los productos congelados son costo, conveniencia, su amplia selección y calidad consistente por un período prolongado de tiempo.⁸⁶ En los productos enlatados es necesario eliminar el líquido de cobertura, con lo que se pierden minerales, mientras que en los productos congelados nada se desperdicia, conservando sus características físicas y nutrimentales^{12, 76}, además la congelación es una forma de prolongar la frescura de los alimentos y cualquier producto que sea bien congelado tiene una vida de hasta dos años sin necesidad de introducir conservadores; sin embargo, la Secretaría de Salud establece que su consumo sea en un lapso máximo de seis a ocho meses para evitar la pérdida de propiedades, pues después de un largo período puede deshidratarse o perder nutrimentos.⁷⁶

La congelación se considera como el mejor medio de almacenamiento de alimentos ya que en la mayoría de los casos se mantiene la calidad nutricional y la calidad organoléptica; además mata algunos microorganismos aunque varios permanecen en estado latente a bajas temperaturas debido a que no tienen agua disponible; las reacciones químicas y enzimáticas se inhiben, por lo que disminuye el deterioro del alimento.⁵⁷

Cuando se intenta controlar el comportamiento de microorganismos y enzimas a bajas temperaturas no hay coincidencias pues los primeros cesarán toda actividad entre -5 y -10°C, y en el caso de las enzimas se cree que su actividad es prácticamente nula por debajo de -30°C. De ahí que la acción del frío sobre los productos alimenticios resulta proporcionar condiciones no favorables a la actividad microbiana o enzimática.⁴⁰

La conservación por frío será más larga cuanto más baja sea la temperatura, pero siempre ocurre una pérdida de calidad que se agrava con el tiempo de conservación. Por lo tanto, el frío industrial solamente debe emplearse en alimentos de muy buena calidad. Es un error muy grave reservar para su congelación productos de baja calidad esperando que su calidad mejore.⁴⁰

En México se carece de la infraestructura de congelación y almacenamiento, es decir, a las instalaciones destinadas a esta industria no se les ha dado el debido apoyo como en los países desarrollados. Esto se puede observar por la mínima cantidad de industrias que congelan sus productos y se puede apreciar que a corto plazo no se ven expectativas de inversión a gran escala, ni siquiera para los equipos mecánicos que cuentan con la competencia de la congelación criogénica.⁶⁶

4.2. Propiedades térmicas de los alimentos¹⁰³

4.2.1. Calor específico

Cantidad de calor ganada o perdida por unidad de peso de producto para provocar un determinado incremento de temperatura, sin que tenga lugar un cambio de estado.

$$c_c = Q/M(\Delta T),$$

donde Q es el calor ganado o perdido (kJ), M la masa (kg), ΔT es el incremento de temperatura del material ($^{\circ}\text{C}$) y C_p es el calor específico (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$).

También puede calcularse por medio de ecuaciones empíricas:

- Para productos cármicos con un contenido en humedad entre el 26-100% y zumos de frutas con humedad mayor del 50%:

$$c_p = 1.675 + 0.025 w$$

w es el contenido en agua (%)

- Para productos de composición conocida puede usarse la siguiente expresión:

$$c_p = 1.424m_c + 1.549m_p + 1.675m_f + 0.837m_a + 4.187m_m,$$

en la que m es la fracción en peso y los subíndices c , p , f , a y m se refieren respectivamente a hidratos de carbono, proteína, grasa, cenizas y humedad.

El c_p de un producto depende de su composición, humedad, temperatura y presión; aumenta con la humedad; en gases a presión constante es mayor que a volumen constante.

En procesos en los que tiene lugar un cambio de fase, como la congelación, se utiliza el calor específico aparente, que se obtiene sumando al calor sensible el calor involucrado en el cambio de fase.

4.2.2. Conductividad Térmica

Es una medida de la velocidad con la que el calor se transmite a través de un espesor unidad de ese material cuando existe un gradiente de temperatura unidad entre sus extremos.

$$k = \text{J/s m } ^{\circ}\text{C} = \text{W/m } ^{\circ}\text{C}$$

La mayoría de los alimentos con alto contenido en humedad tienen una conductividad térmica cercana a la del agua.

Para frutas y vegetales con contenidos en agua mayores del 60%, puede calcularse por medio de la siguiente ecuación empírica:

$$k = 0.148 + 0.00493w,$$

donde k es la conductividad térmica y w el contenido de agua (%).

4.2.3. Cambios en las propiedades térmicas por congelación^{49, 103}

- Densidad. el cambio es proporcional a la humedad del producto, siendo menor la del hielo.
- Conductividad térmica: varía según el producto y la temperatura, dependiendo de la orientación de los tejidos, el valor del hielo es cuatro veces mayor a la del agua.
- Entalpía es importante para realizar cálculos de la refrigeración necesaria para la congelación del producto; es aproximadamente 0 a -40°C y aumenta conforme aumenta la temperatura, dependiendo en gran medida, del agua congelable. Representa la suma de 3 factores: variación de la entalpía correspondiente al enfriar de la temperatura inicial y punto de congelación; calor latente de congelación, y la variación de la entalpía correspondiente al enfriar del punto de congelación a la temperatura final.
- Calor específico aparente. en su gráfica se puede observar el cambio de fase.
- Difusividad térmica aparente: aumenta al descender la temperatura, siendo mayor en el estado congelado

4.3. Fundamento

El agua se congela formando cristales hexagonales; la transformación de fases de agua va acompañada de la liberación de grandes cantidades de energía (335kJ/kg), lo que se explica por la disminución de la energía cinética de las partículas de las estructuras de los cristales sólidos en comparación de la fase líquida.⁴³

Bajo condiciones de equilibrio a la temperatura justo abajo del punto de congelación una cantidad de agua permanece en fase fluida. Esta fracción baja cuando la temperatura baja y las mezclas eutécticas se separan de la fase de fluido no congelado pero el agua no congelada sigue presente aun a temperatura comparativamente baja, por tanto no es posible definir claramente el punto final del proceso de congelación.¹⁷

Al disminuir la temperatura del agua, se aproximan entre sí las moléculas, la fuerza de atracción que las une se acentúa, a la vez que disminuye el movimiento térmico de Brown; cuando la energía de

estos movimientos está por debajo de la energía de orientación de las partículas, se origina la estabilidad cristalina.⁴³

La cristalización se determina por dos velocidades, la de nucleación y crecimiento de los cristales. El hecho de que los líquidos pueden ser enfriados por debajo de su punto de congelación sin congelarse momentáneamente y de repente se congelen o puedan ser inducidos a la congelación por la presencia de una partícula sólida se conoce como nucleación.⁸⁸

4.3.1. Proceso de congelación

Los productos alimenticios en los que el frío es su proceso típico de conservación tienen contenidos de agua del 50% al 95%.⁴⁰

La congelación es uno de los métodos principales dentro de la conservación de alimentos. Consiste en la disminución de la temperatura del producto transformando, toda o casi toda su agua en hielo y el descenso posterior de la temperatura, de tal forma que se interrumpan los procesos del mismo y evitar su descomposición, o bien, cambios en sabor o color que mermarían considerablemente su consumo; además es de suma importancia conservarlo dentro de la temperatura y humedad necesarios durante un tiempo más o menos largo en espera de su transporte, consumo o utilización.^{49 101}

Se consideran alimentos congelados a los que han sido sometidos a la acción de bajas temperaturas de -10°C en adelante, pero algunos autores hacen la distinción entre la congelación y la ultracongelación dependiendo de la temperatura.⁵⁴

La congelación es un método efectivo de conservación que retiene la calidad de los alimentos de forma similar al producto fresco. Muchos estudios de los cambios físico-químicos durante la congelación y almacenamiento congelado revelan la influencia en la velocidad de congelación en la calidad del producto descongelado.⁵⁹

El proceso de congelación consta de tres etapas térmicas (Figura 4.1.): 40, 44, 49, 54, 58, 104

1. *Enfriamiento*: refrigeración del producto (A), desde la temperatura a la cual entró en el congelador, hasta el instante en que empieza a cristalizar el agua (B, temperatura crioscópica), habitualmente de -2°C , donde comienza la formación de hielo, liberando una cierta cantidad de calor sensible
2. *Congelación*: extracción del calor latente y por ende la solidificación del agua o congelación propiamente dicha (C). En teoría este tramo tendría que discurrir horizontalmente, pero la concentración del jugo celular aumenta al incrementarse la cantidad de agua congelada, disminuyendo a la vez, constantemente el punto crioscópico. La temperatura cambia de forma muy ligera y el calor se remueve por la transición exotérmica del agua a hielo; la duración de esta fase es función de la cantidad de agua y la velocidad de remoción de calor.
3. *Reducción de temperatura*. hay liberación de calor sensible (D) y esta etapa dura hasta llegar a la temperatura final o de almacenamiento. Ocurre cuando la muestra congelada se equilibra con la temperatura del congelador.

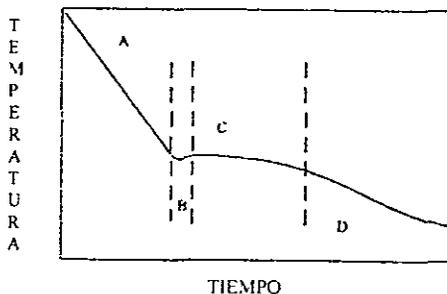


Figura 4.1. Curva de congelación (Somogyi, 1995)

La cantidad de energía latente liberada para cambiar el estado físico del agua es muchísimo mayor que las dos energías de enfriamiento sensibles y este factor marca la diferencia que hay entre un aparato congelador y uno frigorífico ⁴⁹

El daño causado por los cristales de hielo puede minimizarse reduciendo la meseta del calor latente

y descongelar el producto lentamente para que el agua pueda regresar a los compartimentos semipermeables que no se dañaron.³

Al congelar un alimento, su agua se convierte en cristales puros de hielo, Sus componentes compatibles con el agua se concentran en el líquido remanente sin congelar; este proceso de concentración-congelación disminuye la calidad del alimento.³¹ A causa de la falta de uniformidad de temperatura en un tejido durante la congelación hay diferentes concentraciones en la fase líquida de un producto; ésto podría dar como resultado cierta difusión, debido a una diferencia de presión osmótica proceso que podría ser parcialmente reversible durante la descongelación.⁴⁴

4.4. Tiempo de congelación

El Instituto Internacional de la Refrigeración define el tiempo nominal de congelación al tiempo desde que la superficie del cuerpo alcanza 0°C al instante en que el centro del producto alcanza una temperatura de 10°C más fría que la temperatura inicial de formación del hielo en ese punto. pero se objeta que la formación de hielo no ocurrirá hasta que la temperatura de la superficie del cuerpo sea menor a 0°C.¹⁷

Los tiempos y selección adecuada del sistema de congelación es el factor crítico para asegurar la calidad del producto.¹⁰³

4.4.1. Métodos para calcular el tiempo de congelación

Los cálculos que involucran la transferencia de calor por conducción en estado no estacionario con cambio de fase no es fácil.¹⁷

Para calcular los tiempos de congelación se asume que el cuerpo a congelar se encuentra inicialmente a una temperatura uniforme y se enfría a una temperatura constante del medio, de lo que hay un coeficiente de transferencia de calor uniforme y constante entre la superficie del cuerpo y el medio refrigerante. También se asume que el material del cuerpo tiene una constante de conductividad térmica y calor específico (diferentes para el estado congelado y no congelado), densidad que no varía con la temperatura o que se altera durante el proceso de congelación y un punto de congelación definitivo al que el calor latente de fusión es liberado.¹⁷

El cálculo se puede simplificar haciendo uso de grupos adimensionales como el número de Biot (Bi) y Fourier (Fo). los números se usan comúnmente para transferencia de calor en estado no estacionario incluyendo conducción térmica.¹⁷

Ecuación de Plank¹⁰³

$$t_f = \frac{\rho H_f}{T_F - T_\infty} \left(\frac{P' a}{h_c} + \frac{R' a^2}{k} \right)$$

El tiempo de congelación (t_f) aumentará cuando aumente la densidad (ρ), calor latente de fusión (H_f) y dimensión característica a .

El t_f disminuye al aumentar la diferencia de temperaturas (temperatura inicial de congelación, T_i y del aire, T_∞), el coeficiente de transmisión de calor por convección h_c y conductividad térmica k del producto congelado.

Las constantes P' y R' se utilizan para considerar el efecto de la forma del producto:

Forma	a	P'	R'
Láminas infinitas	Anchura	1/2	1/8
Cilindros infinitos	Diámetro	1/4	1/16
Esféricas	Diámetro	1/6	1/24

Las limitaciones del método de Plank consisten en el desconocimiento de los valores de los diferentes componentes de la ecuación y no se toman en cuenta la temperatura inicial y final del producto, sin embargo, es el más utilizado.

Los otros métodos para determinar el tiempo de congelación, consisten en modificaciones a la ecuación de Plank ¹⁰³

Algunas ecuaciones empíricas son las de Nagaoka, Charm y Slavin, Tao, Joshi y Tao, Tien y Geiger, Tein y Kuomo y la de Mott, que son aproximaciones válidas para condiciones cercanas a las utilizadas en la experimentación.¹⁰³

Otros procedimientos numéricos son los de Cleland y el de Singh y Mannaperuma, basado en la conducción de calor con los cambios de fase graduada.

Las aproximaciones de Cleland consisten considerar constantes las condiciones ambientales constantes, temperatura inicial de congelación uniforme, temperatura final fija y transmisión de calor por convección hacia la superficie de un objeto mediante la ley de enfriamiento de Newton.¹⁰³

a) Lámina infinita unidimensional

$$t = \frac{R}{h} \left[\frac{\Delta H_1}{\Delta T_1} + \frac{\Delta H_2}{\Delta T_2} \right] \left[1 + \frac{N_{Bi}}{2} \right]$$

donde:

$$\Delta H_1 = C_u(T_1 - T_3)$$

$$\Delta H_2 = L + C_f(T_3 - T_f)$$

$$\Delta T_1 = \frac{(T_1 + T_3)}{2} - T_a$$

$$\Delta T_2 = T_3 - T_a$$

$$T_3 = 1.8 + 0.263T_f + 0.105T_a$$

Esta ecuación es válida para:

$$0.02 < N_{Bi} < 11; 0.11 < N_{Ste} < 0.36; 0.03 < N_{Pk} < 0.61$$

$$\text{Número de Stefan} = N_{Ste} = \frac{C_f(T_f - T_i)}{\Delta H}$$

$$\text{Número de Plank} = N_{Pk} = \frac{C_u(T_i - T_f)}{\Delta H}$$

C_u : calor específico del material no congelado.

Tiempo de descongelación

$$t = \frac{5.7164 C_u R^2}{k_u} \left[\frac{0.25}{N_{Bi} N_{Ste}} + \frac{0.125}{N_{Ste}} \right]^2$$

Válida para

$$0.3 < N_{Bi} < 41; 0.08 < N_{Ste} < 0.77; 0.06 < N_{Pk} < 0.27$$

b) Forma elipsoidal

La influencia de la forma es realmente independiente de otras condiciones que no sean el número de Biot y la geometría. El factor de forma E se calcula por:

$$t_{\text{efectiva}} = \frac{t_{\text{de Plank}}}{E}$$

En la práctica, para aproximar el tiempo de congelación de los productos en determinadas circunstancias, se utilizan frecuentemente nomogramas basados en datos empíricos generalizados.⁴³

4.4.2. Factores que influyen en el tiempo de congelación

Existen varios factores que afectan al tiempo de congelación y que influirán en el diseño del equipo utilizado para la congelación de los alimentos. Uno de estos factores es la temperatura del medio de congelación: si el medio de baja temperatura (refrigerante) se encuentra a una temperatura muy inferior a la temperatura final deseada para el producto, se generan de esta manera altos coeficientes de transmisión de calor por convección, de tal manera que los tiempos de congelación disminuirán de manera significativa cuanto menor sea ésta. De acuerdo a la ecuación de Plank, el tamaño del producto afectará directamente al tiempo de congelación, aunque este factor no puede ser utilizado para modificar dichos tiempos, ya que éstos también dependen de la forma del producto (este es el caso de cilindro y placa), así como de los parámetros de transmisión térmica.^{43 103}

El parámetro que más influye en el tiempo de congelación es el coeficiente de transmisión de calor por convección h_c : a valores bajos de dicho coeficiente, el tiempo de congelación se verá muy afectado por pequeños cambios en dicho coeficiente. Las temperaturas inicial y final del producto afectarán ligeramente los tiempos de congelación, a pesar de que no sean considerados en la ecuación de Plank.¹⁰³

Si el refrigerante es un líquido que se expande a gas, el efecto refrigerante está determinado por su calor latente de vaporización y si no sufre cambio de fase, como una salmuera, este efecto se determina por su capacidad calorífica. Mientras mayor sea la velocidad del aire frío o la circulación

del refrigerante y más contacto íntimo haya entre el alimento y el medio de enfriamiento, más rápida será la congelación.^{41, 44, 85}

4.5. Velocidad de congelación

La velocidad de congelación ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$) de un producto o envase se define como la diferencia entre la temperatura inicial y final dividida entre el tiempo de congelación. Teniendo en cuenta que la temperatura puede variar de diferente manera durante la congelación en distintos puntos del producto, se ha definido una *velocidad local de congelación* para un determinado punto, como la diferencia entre la temperatura inicial y la temperatura deseada dividida entre el tiempo transcurrido hasta que dicha temperatura se alcanza en dicho punto.¹⁰³

La velocidad de avance del frente de congelación (cm/h) es otra forma de expresar la rapidez de la congelación por medio de la velocidad a la que se desplaza el frente de hielo a través del producto; no es constante, siendo mayor cerca de la superficie que hacia el centro: de aquí la dificultad de comparar, de manera que sean válidas, las informaciones procedentes de diferentes fuentes.^{43, 49}

De manera general la congelación se clasifica, de acuerdo a la velocidad (v) o penetración del frente frío (mm o cm) por hora, como lenta si es. $v < 0.16 \text{ mm}/\text{min}$ ó $< 1 \text{ cm}/\text{h}$, rápida, si $v = 0.16 - 0.8 \text{ mm}/\text{min}$ ó $1 - 5 \text{ cm}/\text{h}$ y muy rápida, si $v > 0.8 \text{ mm}/\text{min}$ ó $> 5 \text{ cm}/\text{h}$.⁶²

El concepto de congelación ultrarápida sólo se refiere en principio a la capa superficial del producto o bien a toda la masa cuando se congelan artículos muy pequeños.⁴³

La velocidad de congelación no incrementa linealmente con la velocidad del aire. Productos pequeños como frutas en una cámara con aire fijo a -18°C se congelan en aproximadamente 3 h, incrementando la velocidad del aire a 1.25 m/s, disminuye el tiempo de congelación a 1 h y si la velocidad del aire se lleva a 5 m/s el tiempo será de 40 min. ⁸⁵

Si la congelación es lenta hay daños debido a la concentración de minerales en el interior de la célula, donde el punto de congelación es más bajo que en el exterior. Cuando la congelación comienza, los cristales se forman en los espacios extracelulares, resultando en una matriz rica en

hielo a baja temperatura, lo que crea un gradiente entre los componentes celulares y la matriz extracelular, el líquido se subenfía y el agua del interior de las células tiende a migrar por ósmosis a través de las paredes celulares al espacio intercelular para alcanzar el equilibrio y minimizar el sobreenfriamiento; esta agua se congela externamente, resultando en grandes cristales que pueden perforar y dañar la pared celular, deshidratando y provocando pérdida de peso durante la descongelación, que se resume en pérdida de calidad. Mientras tanto, la concentración de minerales y otros elementos existentes en el agua que permanece en fase líquida o en el interior de las células, incrementará el pH y la concentración de sales; de esta forma la estructura celular del producto se modificará totalmente y no podrá restaurarse cuando se descongela, además esta deshidratación causa cambios en la actividad enzimática. La congelación rápida ocurre a temperaturas extremadamente bajas y velocidades altas de intercambio de calor, que forman numerosos cristales de hielo de tamaño pequeño que se distribuyen uniformemente en las matrices inter y extracelulares, provocando menor pérdida de humedad, obteniendo un producto de alta calidad.^{56, 61, 68, 104}

La congelación rápida o ultracongelación se realiza sólo en minutos (máximo 120 min)⁷³, la temperatura del producto cambia muy rápidamente de -2°C a -5°C , pues es dentro de estos límites que ocurre la cristalización y así se logra garantizar la formación de cristales muy pequeños,^{10, 40, 58, 73} también reduce los efectos de concentración al disminuir el tiempo en que los solutos permanecen en contacto con los tejidos de los alimentos durante la transición del estado original al estado de congelación total,⁵² sin embargo, la formación de cristales dentro de la célula daña los organelos delicados y las membranas estructurales, como consecuencia, los sistemas enzimáticos se dislocan, lo que resulta en una acción enzimática sin control.¹³⁴

Existen dos formas de congelar rápidamente:⁷³

1. Por aplicación de gases criogénicos, con una duración de 1-15 min.
2. Con equipos mecánicos (compresores frigoríficos y otras máquinas auxiliares), con una duración de 15-20 min.

Estos métodos de congelación rápida incluyen congelación con aire frío forzado, inmersión directa, contacto con placas refrigeradas y congelación con aire líquido, nitrógeno líquido (N_2) o dióxido de

carbono (CO₂).⁵⁸ Algunos permiten efectuar algunas operaciones de procesado después de congelar, por ejemplo, simplifica la operación de envasado, a la vez que permite utilizar ampliamente en las máquinas envasadoras materiales baratos como bolsas de polietileno.⁴⁴

Las temperaturas típicas para una congelación rápida comercial hoy en día están entre -35 y -40°C, dependiendo del producto, espesor y envase o la velocidad que se requiera para la congelación.

A pesar de que la congelación rápida produce generalmente productos de alta calidad algunos productos pueden resquebrajarse e incluso romperse si la velocidad es muy alta, pero estas velocidades son superiores a las que se encuentran en métodos comerciales.¹⁰

4.6. Métodos de congelación

Existe una estrecha relación entre el tipo de sistema de congelación utilizado por el procesador y la calidad, seguridad y rentabilidad de los alimentos congelados. El sabor, la textura, el color, la cuenta bacteriana, el tiempo de procesamiento y los costos, se ven directamente afectados por la manera en que actúan estos sistemas. Existe una gran variedad de congeladores que se ajustan a las necesidades del producto, por ejemplo, congeladores en espiral para productos de tamaño grande, congeladores de túnel que trabajan eficientemente cuando se trata de productos pequeños o de cantidades reducidas y congeladores por inmersión que incorporan un proceso de recubrimiento congelado en forma individual en los productos alimenticios.⁶⁰

El proceso de congelación a emplear dependerá de las características físicas del producto, en el caso de verduras o frutas es preferible utilizar aire forzado frío, pues hay procesos donde se utilizan placas compresoras, que no serían convenientes pues actúan apretando la masa y en este tipo de productos debe conservarse la apariencia natural.⁷⁶

Los métodos de congelación se pueden clasificar dependiendo del medio refrigerante, sistema de procesamiento (en lote o continuo) y los métodos de transferencia de calor empleados. Para

simplificar la descripción de los métodos de congelación se clasifican por su medio de refrigeración y método de transferencia de calor, como sigue:⁴¹

- Métodos mecánicos.
- Métodos criogénicos.
- Combinación de ambos.

4.6.1. Mecánicos

4.6.1.1. Cámara por corriente de aire o de conservación de producto terminado

A pesar de que existe cierto movimiento del aire por convección natural o por ventiladores dentro del cuarto, el método es esencialmente de aire fijo; el medio refrigerante utilizado puede ser amoníaco; los productos se congelan en lote o charolas dependiendo del tamaño del producto, empaque y separación de las unidades, el tiempo de congelación puede durar de varias horas a días con grandes pérdidas de humedad y formación de cristales grandes; la temperatura de congelación es comúnmente de -40°C . Tiene la desventaja de que puede causar pérdidas de peso considerables o deterioro de la calidad si no se maneja adecuadamente el producto dentro de la cámara. Se distingue del de aire forzado que emplea velocidades de aire que exceden la velocidad de huracanes.^{41 44 45}

4.6.1.2. Congelador de placas

La transferencia de calor se realiza por conducción; el medio refrigerante puede ser gas o líquido, comúnmente se utilizan salmueras o amoníaco, puede alcanzar -40°C y la velocidad varía de 0.1 a 1 mm/min, lo que lo hace útil para frutas.⁴⁰ El producto es presionado firmemente entre dos placas metálicas que deben ser planas y libres de distorsiones, además el empaque debe estar ajustado al producto; se usa principalmente en empaques planos y las pérdidas de humedad del producto terminado son mínimas ya que se congela dentro del envase; se eliminan las pérdidas de refrigerante y no quedan olores ni sabores obteniendo un producto higiénico y seguro. Puede ser operado en lotes o de forma continua. Las desventajas son que los productos a congelar deben ser de idénticas dimensiones, el espesor está limitado a aproximadamente entre 75 y 150 mm y la capa de aire que se mantiene dentro del paquete alarga el tiempo de congelación.^{41, 61, 62}

4.6.1.3. Congelador por aire forzado

Es un congelador por corriente de aire en forma de túnel, en el que el aire circula a altas velocidades directamente en la parte superior e inferior del producto, resultando en una congelación muy rápida. Opera a temperaturas de -30 a -45°C con velocidades de aire de $10-15$ m/s; a estas condiciones latas de fruta de 13.6 kg se congelan en $12-18$ h, mientras que por aire fijo tardarían 72 h. La temperatura del alimento se reduce a través del contacto con aire a alta velocidad, se divide frecuentemente en túnel, bandas y lecho fluidizado, dependiendo de cuánto aire interactúa con el producto. Se utiliza para congelar frutas.^{41, 62, 85}

Cuando no se cubre el producto, la quemadura por congelación es más común; para minimizarla se utiliza el preenfriamiento del alimento con aire de alta humedad relativa a -4°C para que el producto se congele parcialmente y por la humedad del aire, es mínima la pérdida de humedad, el alimento preenfriado con la superficie congelada se lleva a una segunda zona de congelación donde se termina rápidamente el proceso; otra técnica consiste en humedecer el producto sin empacar e introducirlo en la zona de preenfriamiento para congelar una delgada capa de hielo alrededor de la pieza (glaseado) y después se termina el proceso por congelación rápida.²⁵

4.6.1.3.1. Congelador de bandas transportadoras

Es una modificación del túnel por aire forzado; consta de una banda que se mueve y una salmuera fría a -40°C se rocía bajo la banda; para incrementar la eficiencia y capacidad, se puede usar aire frío o gas criogénico asperjado para dar mayor refrigeración: el aire frío se mueve a alta velocidad en la dirección opuesta a la que se mueve el alimento; la transferencia de calor se realiza por conducción-convección. Se mejora el contacto entre el aire y el producto por medio de un flujo de aire vertical, la distribución uniforme del producto sobre toda la superficie de la banda es un requisito para una congelación efectiva, pues donde la capa del producto es delgada o no existe, hay menos resistencia al flujo de aire causando una acumulación del mismo en áreas menos densamente pobladas, este fenómeno se llama canalización y da como resultado productos pobremente congelados.⁴⁴

4.6.1.3.2. Lecho fluidizado

Emplea el concepto de corriente de aire para congelar individualmente (IQF); el sistema consiste en una cama perforada por la que el aire frío es circulado a altas velocidades y forzado por la acción de ventiladores a pasar por las perforaciones; los productos se alimentan continuamente; las altas velocidades, la cama perforada y el aire frío hacen que el producto se mantenga en suspensión y se congele rápidamente. La turbulencia y la agitación generada ayuda a incrementar el coeficiente de transferencia de calor y reducir el tiempo de congelación. La transferencia de calor se realiza por convección. El medio de refrigeración es amoníaco y la temperatura del aire frío puede alcanzar una temperatura de -40°C o menos, dependiendo de la velocidad del aire y la eficiencia del equipo. Las ventajas que presenta es la velocidad de refrigeración, operación continua y glaseado del producto que lo protege de la deshidratación por sublimación. A cierta velocidad del aire las partículas flotan en la corriente, en donde cada partícula es separada una de otra pero rodeada de aire con libre movimiento; en este estado, la masa particular asume las propiedades de un líquido o fluido. Es efectivo y confiable cuando se congelan productos con alto contenido de agua. La fluidización mejora el contacto efectivo aire/producto produciendo mayor transferencia de calor.^{41, 44 61, 62}

4.6.1.3.3. Congelador en espiral

Reduce el espacio, es flexible y eficiente, consiste en una banda de movimiento continuo que lleva al producto a diferentes alturas mientras se congela por la alta velocidad del aire.⁴¹

4.6.1.4. Congelación por inmersión

De manera general, la congelación con aire es un método de congelación por inmersión; pero el término se emplea a refrigerantes distintos del aire frío. Las ventajas de la congelación por inmersión son:^{63 65}

- Contacto íntimo entre el alimento o empaque y refrigerante, por lo que se minimiza la resistencia a la transferencia de calor.
- Se minimiza el contacto con el aire durante la congelación, lo que es deseable para alimentos sensibles a la oxidación.
- Se reduce la energía en más de 25%.
- Causa menos deshidratación y se obtiene un producto final de mayor calidad.

Solían utilizarse los clorofluorocarbonos (CFCs) como medios de congelación. No se considera congelación criogénica y por los remanentes en el producto y la destrucción de la capa de ozono no se emplean más (Protocolo de Montreal y regulaciones de la EPA). La transferencia de calor se realiza por conducción durante la inmersión y por convección en la cámara de equilibrio.⁴¹

El enfriamiento y congelación consiste en el contacto directo del alimento en una solución acuosa fría ($T < 0^{\circ}\text{C}$), basado en que el equilibrio térmico se alcanza antes que el equilibrio de transferencia de masa, por lo que es importante operar a la temperatura más baja posible para favorecer la transferencia de calor utilizando soluciones eutécticas; generalmente se usan soluciones salinas binarias, con mayor frecuencia de NaCl (punto eutéctico $\approx -20^{\circ}\text{C}$) o CaCl_2 (punto eutéctico $\approx -50^{\circ}\text{C}$), de azúcar, de alcohol o de otras sustancias no tóxicas; si el líquido es etilenglicol, propilenglicol u otra sustancia análoga, el producto debe protegerse con un empaque pues puede proporcionar un sabor acre.^{44 58, 66, 70, 85}

Se han utilizado soluciones de azúcar para congelar frutas, pero no es posible mantener la temperatura del líquido a -18°C ya que se requieren aproximadamente dos terceras partes de sacarosa lo que vuelve muy viscosa la solución a esa temperatura. El glicerol se ha utilizado para congelar frutas.⁸⁵

Su desventaja es la transferencia de solutos,⁶⁹ la toma de solutos sigue tres mecanismos principales: absorción y adherencia de la solución en la superficie del alimento, y posteriormente difusión hacia el interior del alimento; se puede prevenir adicionando un soluto secundario a la solución de enfriamiento, como puede ser la inmersión del material en una solución azucarada antes de introducirlo en la solución salina de enfriamiento.⁷⁰

4.6.2. Criogénicos

El producto se congela extremadamente rápido y las bajas temperaturas mantienen la alta calidad del producto terminado, sin embargo, si el proceso de congelación no se controla apropiadamente el producto puede dañarse.⁴¹

Los gases licuados como N_2 y CO_2 tienen bajos puntos de ebullición y pueden congelar más rápido que la mayoría de los métodos convencionales de congelación. Cuando el punto de ebullición del gas licuado está en el rango de temperatura criogénica (menor a -150°C), el proceso se llama

congelación criogénica. El CO₂ no entra en esta categoría pero comúnmente se le incluye por su bajo punto de ebullición;⁵⁹ se aprovecha que este líquido al ser atomizado y despresurizado en forma súbita, genera la llamada nube carbónica; esta nieve, al contacto directo con el alimento, recibe la energía calorífica que éste posee; además, el CO₂ gaseoso, formado por sublimación de la nieve carbónica que ha incrementado su temperatura poco antes, se aprovecha para preenfriar el alimento a congelar.⁶⁷

La tabla 4.1. muestran las ventajas específicas del N₂ sobre el CO₂ como materiales criogénicos.

Elemento de comparación	N ₂	CO ₂
Temperatura (°C)	-196	-79
Reacciones	Inerte	Ácido carbónico en contacto con el agua.
Almacenamiento	Temperatura ambiente	En frío
Seguridad	Inerte	Gas tóxico, produce asfixia.
	Baja presión de almacenamiento (3 kg/cm ²)	Presión de almacenamiento (20 kg/cm ²)
Canalización	Sin atascos	Atascos si se produce nieve carbónica
Túneles de congelación	Fácil regulacion	Difíciles de regular (nieve carbónica)

Tabla 4.1. Ventajas del N₂ sobre el CO₂. (Madrid, 1991)

Las ventajas de la congelación criogénica sobre los sistemas mecánicos son:^{41, 59, 62, 66, 72}

- Reducción en el tiempo de congelación
- Reducción de las pérdidas de humedad.
- Reducción en el tamaño de cristales de hielo durante el proceso de congelación.
- Eliminación del sistema de refrigeración de amoníaco y su mantenimiento.
- Menor daño a la estructura celular.
- Bajo capital de inversión, costo eléctrico y factor de riesgo.
- Instalación rápida, conveniente y portátil
- Sistema simple y eficiente.
- Se pueden procesar productos de cualquier forma.

- Sistema flexible y versátil.
- Alta transferencia de calor.
- Mejores características organolépticas.
- Mejor calidad microbiológica.

Las desventajas de los métodos criogénicos son los costos de operación a largo plazo, resquebrajamiento del producto y la necesidad de tanques presurizados para mantener el CO_2 líquido.⁴¹ El resquebrajamiento puede producirse si el producto se expone directamente a temperaturas extremadamente bajas por un período largo de tiempo, produciendo estrés interno. Los daños mecánicos inducidos se deben a cambios de volumen asociados a la fase de transición de agua-hielo. El resquebrajamiento puede reducirse por preenfriamiento y reduciendo la velocidad de congelación.^{55, 86}

Básicamente se pueden dividir en:⁴¹

4.6.2.1. Inmersión y aspersión

El producto entra en un baño de N_2 durante unos segundos para congelar la superficie; la congelación del alimento genera $\text{N}_{2(g)}$ frío por el intercambio de calor que se aprovecha para terminar de congelar el producto; los métodos de transferencia de calor son conducción y convección. Se pueden utilizar ventiladores para mejorar la transferencia de calor (figura 4.2.).⁴¹

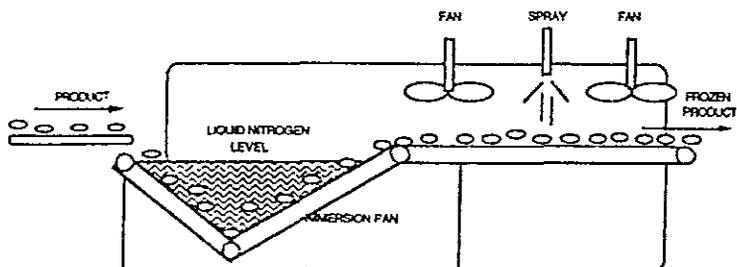


Figura 4.2. Esquema de un congelador por inmersión y aspersión. (Gaonkar, 1995)

4.6.2.2. Aspersión

Los gases N_2 y CO_2 son los más utilizados. consiste en un túnel con sistema de asperjado en la parte superior del alimento, al contacto con el producto, se vaporiza rápidamente y el vapor generado se transfiere hacia el producto de entrada como medio de preenfriamiento ($-70^\circ C$), finalmente los vapores son descargados a la atmósfera con temperaturas de alrededor de -30 a $-18^\circ C$. Cuando se usa CO_2 , el líquido es liberado a presión atmosférica, el 50% se transforma en nieve de hielo seco a $-79^\circ C$, que puede ponerse en estrecho contacto con el producto a congelar.⁴⁴ El contacto directo con los gases fríos y la acción de ventiladores hacen que el producto alcance el estado congelado en pocos minutos; los métodos de transferencia de calor son de conducción y convección (figura 4.3.).⁴¹

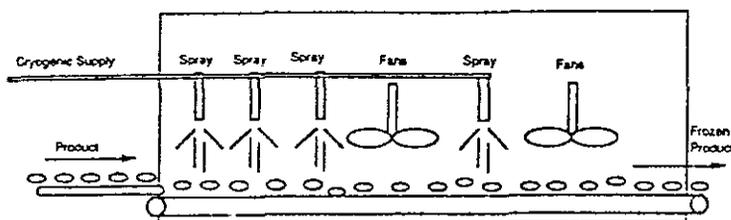


Figura 4.3. Esquema de un congelador por aspersión. (Gaonkar, 1995)

4.6.3. Criomecánicos

La congelación criomecánica o frío mixto combina los beneficios de los gases y líquidos criogénicos con los equipos de congelación mecánica para mejorar el consumo de energía, tiempos de congelación, flexibilidad del equipo, velocidad de producción, calidad del producto terminado y costos de manufactura; los costos se reducen al congelar criogénicamente la superficie y completando la congelación en un túnel con enfriamiento mecánico.^{41, 58, 104}

Se obtiene de dos formas:⁷³

1. Colocando el frío criogénico delante del mecánico se endurece el producto en la superficie, mejorando la calidad del final del mismo se evitan pérdidas de peso y pegado del producto.
2. Colocando el frío criogénico detrás del mecánico.

En ambos casos, la mayor parte de la congelación se asegura por el frío mecánico.⁷³

Este método se propone para frutas suaves; la superficie de las frutas se refuerza por precongelación con nieve de CO₂ que las hace más resistentes al impacto y el proceso se termina por congelación en lecho fluidizado. También puede emplearse la congelación criogénica por aspersión en combinación con un congelador de banda circular o en espiral (Figura 4.4.).⁶²

La congelación criogénica con N₂ puede combinarse fácilmente con la congelación por aire forzado.⁶²

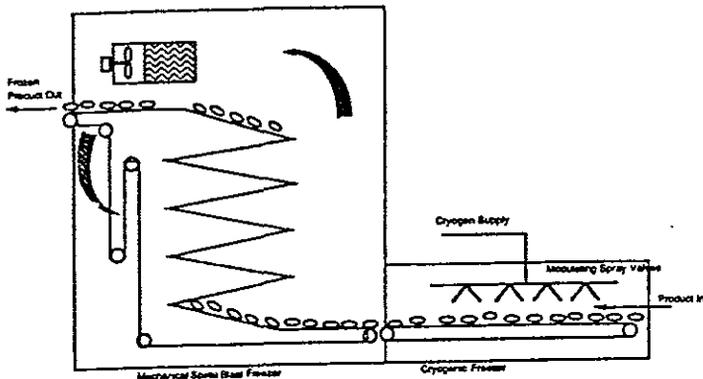


Figura 4.4. Esquema de un congelador criomecánico. (Gaonkar, 1995)

4.6.3.1. Ejemplos comerciales

El equipo de Kwik Freeze® criogénico opera con un sistema de lecho fluidizado, específicamente diseñado para procesar productos individuales que deben ser congelados rápidamente.⁹⁰

La empresa Air Products & Chemicals ha desarrollado el congelador de inmersión instantánea Cryo Quick Crust Plus Inmersion Freezer®, diseñado para trabajar junto con los sistemas de congelación mecánicos o en espiral que ya se encuentran operando en fábrica; este congelador incorpora la tecnología de inmersión criogénica utilizando el N₂ dentro de un túnel de varios pisos; este sistema es particularmente útil para congelar productos de tamaño pequeño que tienden a aglomerarse, como es el caso de los trozos de fruta.⁹⁰

Un congelador de triple paso (Cryo-Quick®), combina la inmersión de N₂ con un congelador mecánico en la misma unidad: ésto elimina la necesidad de un sistema mecánico para completar el proceso, mejorando la calidad y la productividad. En contacto con el N₂ se forma una costra que protege la humedad y pérdida de sabor, después pasan por el vapor generado por el N₂ y las piezas se congelan individualmente: los productos entran a la unidad a -40°C, permanecen de 5-20 segundos y salen a -18°C en 3-7 minutos.⁷⁹

Nortfield ofrece un equipo que permite congelar con una capa de 1 mm de espesor a productos frágiles, pegajosos o altamente viscosos antes de entrar al sistema tradicional de corriente de aire para completar el ciclo de congelación, de esta manera se evita la deshidratación del producto conservando su apariencia natural.⁸

4.7. Crioprotectores

Cuando la temperatura de una solución desciende, aumenta la formación de hielo, mientras la concentración de sólidos en solución, que permanece en fase líquida, aumenta hasta que se alcanza un máximo. Este máximo es diferente para cada material y se denomina punto eutéctico o criohidráctico. En este punto la temperatura no variará por acción de la extracción del calor, en cuanto el resto del material solidifica. Una vez que todos los cristales están formados, la temperatura empieza a descender de nuevo. Sin embargo, en la práctica, aunque los productos alimentarios nunca se congelan hasta tal grado que se alcance el punto eutéctico, tampoco preocupa rebasarlo, ya que ésto requeriría temperaturas inferiores a -60°C.⁸¹

El estado vítreo se usa para describir la temperatura a la que las moléculas llegan lentamente al punto en que no reaccionan entre sí; durante la concentración en el proceso de congelación, algunos componentes llegan a su punto de saturación y precipitan, mientras que otros se convierten en cristal; las porciones remanentes sin congelar, aumentan su viscosidad a un punto en el que el movimiento molecular es enormemente lento (Tg') que marca la temperatura de transición de un alimento de su estado original al de un estado "congelado amorfo". Es deseable almacenar los alimentos congelados por debajo o tan cerca como sea posible de esta temperatura, algunos procesadores están implementando esta tecnología en sus operaciones de congelación y almacenamiento.^{31, 164}

La criostabilización consiste en el uso de crioprotectores (solutos de bajo peso molecular) o criostabilizadores (solutos de alto peso molecular) en la formulación para incrementar la temperatura de transición vítrea (T_g) para tener una máxima crioc concentración de la fase líquida o para reducir el contenido de agua congelable. A medida que la diferencia entre la T_g y la temperatura de almacenamiento se reduce, el producto congelado se estabiliza. La reducción del contenido de agua congelable contribuye a disminuir los daños producidos por los cristales de hielo al reducir su fracción volumétrica.⁷⁷

Aditivos, usualmente azúcares y polioles, se usan ampliamente para prevenir el deterioro de alimentos congelados. El efecto crioprotector se asocia a sus propiedades de depresión del punto de congelación. Recientemente se ha estudiado el efecto de polipéptidos no congelables o glicoproteínas cuyo efecto es 100 veces mayor que lo esperado por propiedades coligativas, sin embargo, estos materiales no se han empleado como aditivos por su alto costo.⁸¹ Una teoría específica que está siendo reconocida es la del comportamiento de los polímeros naturales de los alimentos en la que pueden ser modelados como polímeros sintéticos para preservar su estabilidad y calidad.³¹

Los alimentos congelados serán más parecidos a los frescos gracias a polipéptidos que inhiban la formación de cristales de hielo y recristalización. Todas las frutas sufren degradación de sabor y textura cuando se someten a ciclos de congelación/descongelación; los investigadores creen que al producir variedades de plantas con proteínas no congelables, se obtendrán productos de cualidades superiores.¹⁰⁷

Generalmente cuando un alimento es congelado, aparecen sobre su superficie cristales de hielo, por lo que es recomendable utilizar ingredientes que controlen este proceso con la finalidad de evitar la deshidratación y mantener la apariencia natural del producto. Se han desarrollado diferentes sistemas de gomas vegetales o hidrocoloides que controlan la cristalización al atrapar el agua libre, reducir la actividad acuosa y controlar así el tamaño y forma de los cristales, logrando una cristalización suave y homogénea. Cuando no se adicionan los hidrocoloides, la superficie del

producto se torna blanca por la deshidratación superficial del agua libre, afectando en forma directa las propiedades organolépticas (al sufrir daños en la estructura pierden cuerpo y textura) y, por tanto, su aceptación por parte del consumidor.⁷⁶

Los hidrocoloides más usados son goma de guar, xantana y carragenina- λ , que no es gelante y puede actuar como agente de viscosidad, mientras que las dos primeras controlan la cristalización; el almidón de tapioca apropiadamente monosustituido extiende el almacenamiento de productos congelados.⁶⁵ Para desarrollar sus propiedades reológicas deben hidratarse en agua a temperatura ambiente o fría. Los niveles de aplicación van desde 0.15 hasta el 0.3 %.⁷⁶

Los hidrocoloides son compatibles con gran cantidad de alimentos, sin embargo en el caso de verduras, aunque pueden utilizarse, su aplicación es distinta; por su tamaño y estructura es preferible rociárselas para controlar la cristalización superficial.⁷⁶

Se recomienda que al formular sistemas de alimentos se consideren estabilizantes de agua (hidrocoloides) y humectantes para controlar el desarrollo del cristal de hielo y su movilidad.⁶⁸

4.8. Almacenamiento

La existencia de un gradiente de temperatura entre el producto y el interior de la cámara de almacenamiento produce un aumento de la libre circulación de aire, cuando el aire se calienta, se incrementa su capacidad de humedecerse. El aire caliente toma humedad de los alimentos inadecuadamente protegidos y finalmente la redeposita cuando se enfría por contacto con las superficies frías del equipo congelador.²⁸

La deshidratación induce a una alteración conocida como quemadura por congelación que confiere al producto un aspecto manchado desagradable.¹² La desecación se puede evitar con una buena congelación ultrarápida, empaque, conservación y transporte en condiciones adecuadas.⁷³

Los efectos secundarios de la pérdida de humedad incluyen pérdida de peso, con la posible declaración ilegal de pesos y un aumento en la velocidad de oxidación;¹² además, si durante el transporte o conservación sube la temperatura, aunque sea por un período corto de tiempo, se reactivan los microorganismos presentes.⁷³

En almacenamientos muy prolongados (meses-años) se pueden producir pérdidas de color y vitamina C, como consecuencia de la luz y el aire, por ello se aconseja el envasado al abrigo de la luz.⁷³

Los productos empacados antes de la congelación tienen ventajas en cuanto al control de la deshidratación que altera el color, textura, sabor y valor nutricional pero tiene la desventaja de aislar el producto.⁵⁸

Uno de los factores más importantes para preservar la calidad de los alimentos congelados es evitar la recristalización o maduración, que se da por un gradiente de tensión de vapor disminuyendo los cristales pequeños y aumentando los grandes.⁵⁴

Los cristales pueden alterar la concentración de solutos y miscibilidad de los componentes tisulares, lo que puede afectar la solubilidad y retención de agua tras la descongelación. Ésto ocasiona daños en la textura pues se pierde la turgencia lo que da un aspecto flácido.⁵⁴

La temperatura general de almacenamiento es de -18 a -23°C, a pesar de que los microorganismos patógenos no crecen a temperaturas inferiores a 3.3°C y los microorganismos responsables de la descomposición no crecen a temperaturas inferiores a -9.5°C. provee una medida razonable de seguridad a la descomposición por microorganismos y mantiene un buen margen de seguridad contra patógenos.⁶⁵

4.9. Descongelación

Es un proceso más largo que la congelación; como la conductividad térmica del producto es menor en estado descongelado que congelado, el calentamiento por el exterior es frenado y la resistencia térmica aumenta progresivamente a medida que se propaga la fusión.^{49, 51}

Conservar la consistencia y reducir la pérdida de jugo en las frutas, son los índices de calidad más importantes en la fruta descongelada. La calidad de la fruta descongelada está supeditada al tiempo de almacenamiento y las condiciones del mismo.⁴⁴

La descongelación es una parte importante en los procesos alimenticios: las temperaturas usadas no deben exceder valores críticos de sensibilidad.¹¹² La descongelación es completa cuando la temperatura en el centro del producto es de 0°C y no queda más hielo en el producto.⁵⁴

Los tipos de daños que pueden presentarse en alimentos durante la congelación lenta también ocurren durante la descongelación lenta; ciclos repetidos de congelación y descongelación disminuyen considerablemente la calidad del producto.⁶⁵

El proceso de descongelación consta de tres etapas: 1) atemperado, 2) descongelación propiamente dicha y 3) calentamiento al punto de temperatura final.⁴⁴

Si la descongelación es lenta, existe un gradiente de concentración que provoca migración del agua; llevando a la misma temperatura, las soluciones más concentradas (últimas en congelar) son las primeras en descongelar. Estas se llaman mezclas eutécticas. una mezcla eutéctica es una solución de una determinada composición que congela (o descongela) y se concentra más debido a la separación del hielo puro. Si la descongelación es lenta, los constituyentes tienen más tiempo para estar en contacto con mezclas eutécticas concentradas y los daños por concentración se intensifican.⁶⁵

Los métodos de descongelación están fundados sobre las propiedades térmicas del producto, o bien sobre sus características dieléctricas o su resistividad eléctrica. El primero consiste en aportar calor a la superficie del producto para lo cual se expone la superficie de éste a la acción del aire, vapor de agua, líquido o a la influencia de superficies calientes. En el segundo caso el calor se

genera en el interior del producto por calentamiento con microondas o corriente eléctrica o también aprovechando la resistencia eléctrica. Los métodos más comunes de descongelación incluyen: por aire (en reposo o movimiento), al vacío, por métodos eléctricos, por agua y por microondas.^{44, 54, 61}

La descongelación convencional se realiza en cámaras de descongelación a temperaturas de refrigeración, pero es un proceso muy lento, pero reducir el tiempo por altas temperaturas resulta en un descenso en la calidad del producto, como pérdidas de peso por goteo, desecación de la superficie y el riesgo de la contaminación microbiana. La descongelación con agua tibia tiene la desventaja de los problemas de emplear gran cantidad de agua.¹²

Los dos métodos básicos para descongelar frutas son por aire y agua, que se prefiere por ser más rápido; sin embargo se deben determinar los procedimientos óptimos para productos específicos.

La energía de microondas penetra en el material y produce calentamiento interno, que resulta en un calentamiento rápido y tiempos cortos, pero presenta el problema de grandes gradientes de temperatura en el producto, que se refleja en excesiva pérdida de agua y degradación térmica; las ventajas de las microondas se pueden aprovechar si se asiste con un control de gradiente de temperatura; la absorción de las radiaciones electromagnéticas aumenta cuando se aproxima al punto de congelación inicial, por lo que se recomienda utilizar este método para el atemperado.^{49, 112}

Los procedimientos de descongelación afectan la retención de nutrimentos: a temperatura ambiente resulta en una mayor pérdida de peso por goteo con la consecuente pérdida de nutrimentos que la descongelación lenta en el refrigerador, además el crecimiento de microorganismos es más lento en el refrigerador, por lo que es más seguro.⁵⁷

Al descongelar un alimento los cambios que se presentan son el resultado del tratamiento que ha recibido durante el proceso previo a la descongelación. La pérdida de agua por exudación es mayor cuando es más lenta la congelación y rápida la descongelación; al perderse agua por exudación también se pierden nutrimentos.⁸⁸

Los cambios por descongelación llevan a la pérdida de turgencia, las frutas blandas tienden a menguar y perder líquidos, por lo que si se encuentran en un medio de almíbar es mejor porque no se aprecian estos efectos.¹⁰⁴

4.10. Cadena Fría⁴³

El concepto de conservación por congelación de alimentos no sólo comprende el proceso de congelación, sino el conjunto de actividades que deben realizarse para suministrar al consumidor un producto de calidad adecuada. Este conjunto de operaciones, que comienza en el momento de obtenerse la materia prima y concluye con la congelación del producto terminado antes del consumo, recibe el nombre de cadena fría. Los eslabones de esa cadena son los almacenes frigoríficos de producción, depósito y distribución, instalaciones frigoríficas del comercio, así como vitrinas de congelación y los congeladores caseros; todos los eslabones tienen la misma importancia. El elemento que une los eslabones de la cadena entre sí es el transporte frigorífico.

La instauración de unas condiciones de temperatura constantes en grandes redes de distribución de productos congelados exige una gigantesca concentración de medios técnicos y financieros, así como la garantía de una eficaz colaboración e integración organizativa de todos los eslabones del sistema.

Una cadena frigorífica de funcionamiento racional debe ser ininterrumpida, compleja, extensa (tiempo y espacio), uniformemente desarrollada y adecuada a las especificaciones propias de cada rama en particular, la interrupción de este sistema en cualquier punto equivale a merma de calidad o a la descomposición del producto cuando éste no se utiliza en un plazo determinado.

5. Congelación de frutas

5.1. Generalidades

Las razones que justifican la necesidad de implantar un sistema de congelación de frutas y hortalizas son:^{61, 601}

- Eliminación o reducción importante de las mermas de los alimentos o en el deterioro de los mismos por razones de almacenamiento y transporte.
- Conservación de las condiciones nutritivas de los alimentos durante periodos largos de tiempo, garantizando su llegada a los consumidores en condiciones óptimas, y de esta forma, conservar la calidad que es un factor fundamental en el renglón de la industrialización y exportación, ya que estos mercados exigen elevados índices de calidad.
- Permite al productor alargar el período de vida del producto, venderlo en épocas no productivas, evitando los descensos peligrosos de los precios en temporada que el producto satura el mercado durante la época normal de cosecha.
- Disminuye las pérdidas ocasionadas por accidentes meteorológicos como las heladas, mediante recolección anticipada, congelación y almacenamiento de frutas climatéricas.

La congelación asegura la conservación de frutas por largo tiempo sin embargo, al ser su pared celular delgada, se rompe con facilidad, haciendo necesario controlar las condiciones de proceso y almacenamiento: en caso contrario, se pierden las ventajas obtenidas con esta tecnología, pues pueden destruirse los compartimentos celulares de los tejidos, incrementando la probabilidad de reacciones físicas, químicas y bioquímicas (oscurecimiento, cambios de textura, pérdida de aroma, etc.) que son indeseables para el producto: algunas veces queda afectada la consistencia (firmeza y constitución estructural) y con ello la capacidad de retención de jugos, así como en ocasiones, el color y sabor, mientras que los componentes del aroma típicos de cada variedad se conservan casi inalterados. Las enzimas y sustratos en el interior de las células están normalmente aisladas por membranas, su perforación por cristales de hielo, permite que se mezclen, dando lugar a reacciones que conducen al desarrollo de olores y sabores desagradables.^{44, 54, 77}

Los productos congelados de alta calidad se destinan para el hogar, restaurantes y para otras industrias, como la de panificación.⁸⁵

La mayoría de las frutas tiene una textura blanda aún antes de congelar y descongelar. Los métodos de preparación de frutas para ser congeladas están influenciadas por la fragilidad de los tejidos y deben seleccionarse con cuidado, ésto contrasta con los vegetales que son más fibrosos y tienden a preservar su estructura después de congelar y descongelar. Para intentar preservar la textura natural de las frutas enteras se han experimentado procedimientos de congelación rápida (N_2 o CO_2), sin embargo, utilizando los procedimientos más rápidos, tienen una vez descongeladas una consistencia más blanda que la frutas frescas y los efectos benéficos de la rapidez de congelación son menores que los que se alcanzan de la selección adecuada de variedades.^{44, 54}

La inmersión prolongada en una solución criogénica después de completar la congelación produce una caída muy rápida en la temperatura de la superficie de la fruta, provocando la contracción del exterior, mientras el interior permanece cercano al punto de congelación, lo que lleva al resquebrajamiento de las frutas, por lo que es preferible evitar la inmersión directa de la fruta en el medio refrigerante.⁵⁶

Además de la velocidad de transferencia de calor a través del tejido, la congelación depende de factores como la distribución microscópica del agua no congelable y del hielo en los organelos celulares.⁴⁵

Los tejidos fibrosos, como las células vasculares y de las paredes son naturalmente resistentes al daño por congelación. Las paredes celulares, y en particular la lamela media entre las células, es rica en sustancias pécticas. Durante la maduración, ocurre la desesterificación de pectinas y se ablanda el tejido. La adición de Ca^{2+} antes de congelar incrementa la firmeza de las frutas tras la descongelación. Estos iones forman puentes intermoleculares con la pectina y refuerza las paredes celulares; esta contribución en la textura, diferente al efecto de turgencia, se mantiene después de la ruptura inicial de las células.⁵⁶

En la producción de frutas es importante combinar las cualidades sensoriales deseables con las cualidades agronómicas, tales como rendimiento elevado, resistencia a plagas y enfermedades, así como la posibilidad de recolectar mecánicamente sin dañar el fruto, etc., de tal manera que proporcionen una materia prima propicia de acuerdo a las necesidades de congelación y uso ulterior. Las diversas especies y variedades ofrecen raramente a la vez una consistencia firme y un buen aroma, para su consumo tal cual, se preferirá congelar variedades de pulpa firme que conserven su textura lo mejor posible tras la descongelación. Las frutas de colores intensos, rojas, amarillos, etc. deben ser uniformes en toda la masa. Para las especies sujetas a pardeamiento enzimático (manzanas, duraznos, peras), se recomienda congelar las variedades menos sensibles, es decir, las que tienen menos fenoles oxidables.⁴⁴

El color es un factor de calidad importante, por lo que con el fin de mantener un color brillante en el producto final, se emplean tratamientos químicos o aditivos, como agentes sulfurosos y ácido ascórbico, en lugar del escaldado térmico para inhibir enzimas;²⁰ entre las drupas, las especies con pulpa de tonalidad clara, como durazno, chabacano y ciruela, necesitan manipulación especial o protección contra cambios oxidativos.⁴⁴

La congelación y el almacenamiento posterior ocasionan algunas pérdidas de aroma, por tanto, se recomienda congelar las variedades con aroma fuerte, de tal manera que la pérdida de algunos volátiles no disminuya la aceptación del producto terminado.⁴⁴

El grado de maduración de la fruta en la recolección influye de manera notable en la calidad del producto congelado; la mayoría de las frutas proporcionan un mejor producto si se recolectan algo más tarde de lo habitual que cuando se destinan para ser vendidas frescas, o bien, antes de llegar a madurez de consumo. La fruta debe pasar al proceso cuando esté madura, pero conservando una consistencia firme. Las frutas recolectadas prematuramente carecen de aroma, color y tienen sabor un tanto ácido, además son difíciles de recoger; las maduras en exceso se toman blandas al congelar, se aplastan fácilmente, ofreciendo un aspecto desagradable, o entran en descomposición por ataques fúngicos, además las frutas maduras son frecuentemente insípidas por la pérdida de su acidez natural.⁴⁴

La rapidez de la congelación de frutas se puede intensificar por reducción del tamaño del producto a congelar, por lo que es común cortar las frutas grandes como plátano, tomate, mango y kiwi, así como frutas pequeñas como fresas en cubos o rebanadas.⁵⁶

Las frutas se congelan de diversas formas; ya sea enteras, en mitades o rodajas con o sin otros ingredientes, ya sea en azúcar jarabe, o incluso bajo la forma de zumos, concentrados y purés. Es necesario destacar que la adición de ingredientes en ciertas industrias (frutas al jarabe y confituras) puede modificar sensiblemente el aroma y sabor, dando lugar a la aparición de nuevos y agradables aromas. Gracias a la producción de pulpa de fruta congelada, sobre todo el repertorio de frutas congeladas a granel con adición de azúcar seca y solución azucarada, es posible el completo aprovechamiento de la materia prima para la elaboración de un producto final de alto valor. Las propiedades organolépticas, investigadas en las frutas destinadas a la transformación, varían mucho según la industria que los utiliza. Así las confituras y las frutas en jarabe requieren pulpes que todavía estén firmes después de la congelación y cocción o deshidratación.⁴⁴

Las temperaturas de congelación y almacenamiento (mínimo a -18°C) detienen la actividad microbiana, pero la actividad enzimática sólo se retrasa, por lo que se conservan mejor a -23.3 y -34.4°C . Mantener una temperatura constante ayuda a minimizar la recristalización, además la congelación y descongelación repetida detrimen la calidad de los productos congelados.⁵⁸

*La consecuencia de un almacenamiento inadecuado del producto congelado es una gradual, acumulativa e irreversible pérdida de calidad, por lo que se han probado diferentes pretratamientos con crioprotectores para ayudar a preservar la calidad de la fruta*⁷⁷

Muchos de los factores que afectan la estabilidad de las frutas congeladas durante su almacenamiento a -18°C , son los mismos que afectan la calidad inicial. Sin embargo, para ciertas frutas, algunos factores afectan más profundamente la estabilidad, como la variedad de la fruta, exclusión del oxígeno, efecto del envase y efecto del método de procesamiento.^{44 54}

Es importante prevenir la descongelación durante el almacenamiento porque la congelación que ocurre subsecuentemente bajo estas condiciones es lenta, formándose grandes cristales de hielo que dañan el tejido de la fruta. El almacenamiento congelado causa deshidratación del producto por las fluctuaciones de temperatura por debajo del punto de congelación; conforme la temperatura aumenta, el agua se evapora de la fruta; cuando la temperatura cae de nuevo, el vapor de agua se condensa en la superficie del material de empaque porque se enfría más rápido que la fruta. La fusión del hielo es una reacción endotérmica, el calor se toma usualmente del aire que lo rodea, pero también se extrae del tejido; una recongelación parcial lenta ocurre durante la descongelación resultando en un daño a las paredes y membranas celulares; la cantidad de pérdida de peso por goteo durante la congelación y descongelación es una medida para evaluar el daño al tejido de la fruta ⁵⁵

El almacenamiento de algunas frutas a -15°C durante 6 meses reveló decrementos moderados en la calidad de manzana, piña, guayaba y mamey, y gran decremento en la calidad sensorial de papaya ⁵⁶

La temperatura de almacenamiento influye en el olor, sabor, ácido ascórbico y color, conservándose mejor a temperaturas de -18 a -25°C por períodos de 12 meses o menos. ^{44, 62 104}

Durante la descongelación lenta, la temperatura se eleva dirigiéndose hacia el centro y puede causar deshidratación en la misma forma como en las fluctuaciones de temperatura durante el almacenamiento. Cuando los cristales de hielo se funden, experimentan un cambio de fase, tomando calor de la energía interna; esto provoca enfriamiento de sus alrededores resultando en recongelación parcial, lo que provoca un crecimiento muy grande del cristal de hielo durante la descongelación causando mayores daños a las membranas y paredes celulares. ⁴⁴ Los métodos de descongelación rápida son más adecuados pero debe tenerse cuidado para evitar un sobrecalentamiento.

Las frutas enteras o en rodajas que han sido congeladas en un jarabe de azúcar, pueden ser descongeladas lentamente sin perjudicar su calidad, porque casi siempre se añade ácido ascórbico para evitar el pardeamiento enzimático de los productos más sensibles; éste es el modo de

descongelar que se obtiene colocando el producto en un frigorífico doméstico durante 6-12 h y dejándolo a temperatura ambiente aproximadamente 1 h antes de su consumo.⁴⁴ Por otra parte, si se trata de reducir el tiempo de descongelación resulta ventajoso el uso de microondas para las dos primeras etapas de descongelación, además puede favorecer la pérdida de ácido ascórbico.

La ruptura de las membranas y paredes celulares trae como consecuencia la pérdida de agua (exudado), sin embargo, los daños a la estructura celular y firmeza pueden ser relativamente superados si se consumen las pulpas de fruta parcialmente congeladas, sustituyendo la firmeza del tejido por la firmeza del cristal de hielo. Cualquier reacción enzimática retardada por la congelación incrementa su velocidad una vez descongelada.⁴⁴

El valor nutricional de las frutas se relaciona con el contenido de minerales, azúcares, proteína, grasa y vitaminas, las vitaminas son las más importantes desde el punto de vista de la dieta, ya que son las más susceptibles a la degradación. Durante la congelación, almacenamiento y descongelación, las vitaminas y minerales pueden disolverse en líquidos exudados de las frutas, por lo que evitando la salida de exudados se puede reducir la pérdida de estos nutrientes.⁵⁶

El ácido ascórbico es el primer compuesto a estudiar en relación a la calidad de la fruta congelada, esto debido a su importancia como vitamina y por la disponibilidad del método analítico (fluorométrico, titulación, HPLC). Es un compuesto reactivo que sirve también como indicador de reacciones químicas que se dan en el producto. La oxidación del ácido ascórbico puede ser enzimática o no enzimática y procede en presencia de oxígeno: se oxida a ácido dehidroascórbico y luego a ácido 2,3-dicetogulónico que no tiene actividad de vitamina; el pH bajo de las frutas tiene un efecto positivo en la estabilidad del ácido ascórbico. La congelación criogénica de frutas en LN₂ o CO₂ promueve una mayor retención de ácido ascórbico que la congelación lenta.^{16, 56}

El plátano, aguacate, melón y pera son frutas que no responden bien a la congelación ya que tienen sabor y textura suaves que no se recuperan completamente tras la descongelación; por otro lado, la piña desarrolla olores desagradables tras un período prolongado. De lo anterior surge la necesidad de realizar estudios e investigaciones para hacer factible la congelación de estos productos.²⁸

El diseño y operación de procesos y equipo de procesamiento para frutas se basa frecuentemente en la experiencia industrial y reglas empíricas debido a la compleja estructura fisicoquímica de la materia prima y a la diversidad de operaciones y equipo disponible. Los alimentos sólidos y semisólidos, como las frutas, son muy sensibles al estrés térmico y mecánico por lo que se necesita equipo especializado que minimice el daño de los productos; aún pequeños cambios físicos y químicos resultan en cambios indeseables en color, sabor o textura del producto procesado. Avances recientes en el modelado, optimización y automatización son difíciles de aplicar para el procesamiento de frutas debido a la falta de datos experimentales de sus propiedades.¹⁰⁰

La simulación por computadora de operaciones de procesamiento de alimentos requiere información detallada de las propiedades físicas de los materiales a procesar; en el caso de operaciones de congelación y descongelación, la capacidad calorífica (C_p) y entalpías de fusión (ΔH_m) son particularmente relevantes. Con productos con alto contenido de agua, las propiedades térmicas son fuertemente dependientes de la fracción de agua cristalizable. Se ha empleado la calorimetría diferencial de barrido para obtener calores específicos aparentes, puntos de fusión, entalpías de fusión y el porcentaje de agua no congelada de manzana Golden, pera y tomate.⁹⁴

La conductividad térmica de los alimentos, aumenta, en general, con el contenido de humedad, variando en el rango de 0.056-0.556 W/mK; la difusividad térmica de frutas varía en el rango de $1.2E-7$ a $1.7E-7$ m²/s; el calor específico (C_p) y la entalpía (H) de los alimentos depende fuertemente en el contenido de humedad y se le considera una función de la composición y temperatura del producto.¹⁰⁰

5.2. Proceso general

El diagrama general de congelación de frutas se muestra en la figura 5.1.

Algunos aspectos importantes en el proceso se describen a continuación:

5.2.1. Selección

Se realiza para eliminar las frutas con defectos y algunas veces separar por color, tamaño y grado de madurez.^{85, 104}

Una de las formas más comunes es la separación manual con una velocidad de banda menor a 7 m/min, pero, por el alto costo de mano de obra se han desarrollado medios mecánicos y electrónicos; la diferencia de color se puede detectar con una fotocelda, que separa la fruta por color y madurez por medida de transmitancia rechazando los productos inadecuados.¹⁰⁴

También puede realizarse en agua basándose en los cambios de densidad que ocurren con la maduración.⁸⁵

Normalmente los frutos de colores oscuros son más aptos para congelar que los de colores claros y los de pulpa compacta que aquéllos de pulpa blanda.⁴⁴ En el caso de contar con fruta de pulpa blanda se puede destinar a la elaboración de purés.

Las frutas maduras se prefieren generalmente a las inmaduras como materia prima debido a los altos contenidos de pigmentos y vitamina C; sin embargo, las frutas menos maduras son más firmes, especialmente cuando sufren un pretratamiento como deshuesado.⁵⁶

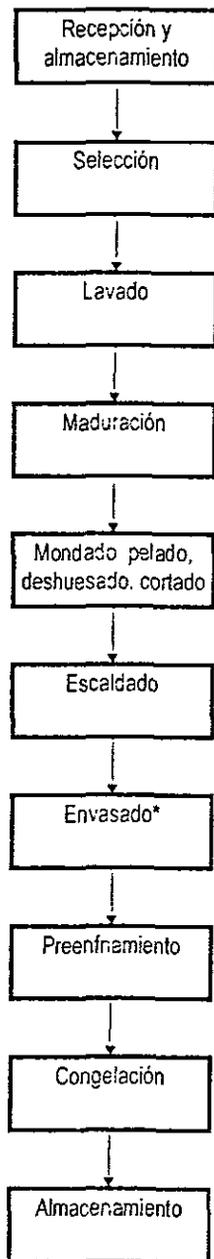


Figura 5.1. Diagrama general del proceso de congelación de frutas (SARH)

* Antes o después de congelar

5.2.2. Lavado y Desinfección

El lavado se emplea para remover de la superficie, tierra, microorganismos, fungicidas, insecticidas y otros pesticidas.⁸⁵

Los métodos de lavado varían de acuerdo a las características de superficie del producto. En frutas como piñas, que tienen una superficie irregular, el uso de agua a alta presión y tallado son utilizados. Para vegetales pequeños puede utilizarse la flotación, utilizando un líquido aprovechando las diferencias de densidad.⁸⁵

El uso de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) es igual de efectivo que el cloro y está clasificado como GRAS para el uso en superficies, agente blanqueador, oxidante, reductor y como antimicrobiano (bacterias, hongos, levaduras, virus y formadores de esporas); su efecto antimicrobiano se basa en sus propiedades oxidativas que aparentemente causa cambios en los sistemas enzimáticos de las células microbianas; las esporas bacterianas son las más resistentes, seguidas de las bacterias gram negativas, especialmente los coliformes; sin embargo, un factor de resistencia es la presencia de catalasa.¹⁵

Se ha probado en bayas, chile, pepino y melones; el tratamiento con vapor reduce las poblaciones microbianas en melón, pasas, ciruelas y nueces. Tiene la ventaja de ser rápido y fácilmente aplicable a nivel comercial y fácil de controlar su exposición.⁵⁹

En uvas se ha aplicado vapor en equilibrio con 30-35% de H_2O_2 a 40°C durante 10 minutos reduciendo el número de esporas germinables, sin causar daño a la fruta, concentraciones elevadas inducen oscurecimiento. Las manzanas, peras, cerezas, frambuesas y fresas tienen posibilidad de tener problemas de residuos de H_2O_2 . La decoloración de antocianinas aumenta conforme aumenta la concentración y el tiempo de exposición, lo que no lo hace aplicable a este tipo de frutas.⁹⁹

Se demostró la eficacia de H_2O_2 para descontaminar *E. coli* de manzanas Golden Delicious, las poblaciones fueron disminuidas y los residuos pueden removerse por enjuague o por la acción de catalasa interna dando suficiente tiempo para la reacción.⁵⁶

Para retirar el exceso de agua de la superficies suelen emplearse rodillos o flujo de aire.¹⁰⁴

5.2.3. Maduración

Las frutas climatéricas requieren ser sometidas a un proceso de maduración generalmente con etileno para acelerar y uniformar la madurez de las frutas.¹⁰⁴

El requisito fundamental para efectuar un tratamiento es contar con frutos maduros fisiológicamente; hay que tener en cuenta:⁴⁵

- Cantidad de etileno a aplicar,
- Sensibilidad del producto al CO₂,
- Temperatura y humedad relativa de la cámara donde se va a realizar el tratamiento y
- Duración del tratamiento.

Existen varias fuentes potenciales del etileno para el uso comercial en tratamiento poscosecha y que se utilizan para acelerar la maduración:⁴⁵

1. Líquidos: se trata del producto químico (2-cloroetil) fosfórico, conocido como etephon que se utiliza en precosecha para uniformizar la madurez o para facilitar la recolección. Se han realizado experiencias de aplicación directa en cámaras de premaduración de manzanas y en postmaduración en peras Passa-Crassana; con resultados satisfactorios
2. Gaseoso: es la fuente más comercial del etileno; se adquiere en cilindros compresores, o bien en botellas de alta presión. El etileno se genera a través de la conservación de concentrado de líquido inflamable (el etileno es explosivo en aire a concentraciones del 31-32%).
3. Fruta madura: la fruta al madurar produce etileno que induce a la maduración a los restantes frutos
4. Se puede generar etileno a partir de etanol por la deshidratación catalítica.
5. La combustión de carburo genera etileno.

Los métodos de aplicación del etileno son:⁴⁵

1. *Inyección*: se inyecta etileno en atmósfera de la cámara de maduración; el C₂H₄ se libera a partir de un contenedor perfectamente hermético. Tiene la ventaja de la fácil aplicación, pero, como desventaja se requieren frecuentes ventilaciones para eliminar el CO₂ resultante, consecuencia de la elevada respiración.

2. **Goteo:** es un sistema operativo lento y continuo. El etileno se distribuye mediante cilindros compresores equipados por reguladores y controladores del flujo. También es necesaria la ventilación periódica.
3. **Chorro.** consiste en introducir el etileno por una corriente continua de aire que barre el producto; dicha corriente arrastra al CO₂ evitando las aireaciones periódicas.

La temperatura óptima es de 15-25°C, con una humedad relativa del 90-95% y generalmente, una concentración de etileno de 10 ppm para iniciar la maduración y de 20-100 ppm por lo menos dos días ¹⁰⁴

5.2.4. Mondado, pelado, deshuesado y cortado

Por lo regular las frutas se procesan en mitades, rebanadas o puré. ¹⁰⁴

El mondado se realiza para eliminar partes indeseables de forma manual o mecánica ⁵⁶

El pelado puede hacerse por escaldado en agua caliente, vapor o solución de sosa caliente; se ha estudiado en kiwi, plátano y mango. ⁵⁶

El pelado con sosa es un método muy común para varias frutas como duraznos, nectarinas, chabacanos y peras; el tratamiento incluye una solución acuosa del 1-10% de NaOH o KOH a una temperatura de 60-90°C por la que la fruta pasa por un tiempo determinado; la solución cáustica disuelve la piel de la fruta. Posteriormente, las frutas se lavan con agua a presión para remover la piel y sosa de la superficie, le sigue un baño ácido (ácido cítrico) para neutralizar los remanentes de sosa. Este método tiene la ventaja de que produce menos pérdida de fruta. ^{85, 104}

El pelado mecánico es muy popular, especialmente para manzanas y peras; la fruta rota a través de un cuchillo fijo o viceversa; la operación puede consistir de un sistema continuo para pelar, descorazonar y rebanar la fruta. ¹⁰⁴

Las frutas peladas se lavan con agua a alta presión y descorazonan mecánicamente. ¹⁰⁴

Las frutas generalmente se deshuesan, pues si se deja el hueso o semilla puede transmitir un sabor amargo. Las frutas con hueso se deshuesan cortando por la mitad la fruta o sacándolo de la fruta entera; las frutas con hueso blandas y que no se les puede o se logra difícilmente, no congelan satisfactoriamente.^{44 56, 104}

5.2.5. Escaldado

Durante el proceso de escaldado es imperativo que las enzimas que tienen potencial para causar cambios de sabor y textura se inactiven: en frutas se realiza para inactivar a los sistemas oxidativos como catalasa, peroxidasa, polifenol oxidasa, ácido ascórbico oxidasa y lipooxigenasa. Cuando un tejido sin escaldar se rompe y se expone al aire, estas enzimas se ponen en contacto con los sustratos causando ablandamiento, decoloración y el desarrollo de olores desagradables. A pesar de que el propósito principal del escaldado es la inactivación enzimática, en la congelación se obtienen otros beneficios: limpia el producto y disminuye la carga microbiana; aunque también ablanda la fruta, al mismo tiempo los gases intercelulares se expelen.^{57, 104}

También destruye la semipermeabilidad de las membranas y seca las paredes celulares, estableciendo una fase líquida continua, así, al comenzar la congelación, la cristalización puede llevarse a cabo en toda la pieza. de este modo se evita la salida de agua por ósmosis desde las células a los intersticios intracelulares.^{56, 61, 88}

Las frutas generalmente no se escaldan térmicamente ya que causa pérdida de turgencia que resulta en un goteo después de congelar; existe una excepción en el caso de rebanadas de frutas que se congelan para su uso posterior en pies adicionando sales de calcio al agua de escaldado para intensificar la firmeza; también es común adicionar pectina, carboximetil celulosa, alginatos y otros hidrocoloides.⁸⁵

Los métodos más convencionales para escaldar térmicamente son agua y vapor; el escaldado con agua es generalmente por inmersión o asperjado; cuando se emplea vapor involucra el uso de bandas; otros métodos menos frecuentes incluyen gas caliente y microondas. El tiempo se basa en la inactivación de una de las enzimas termoresistentes (peroxidasa o polifenol oxidasa).¹⁰⁴

Cuando el escaldado se realiza en agua o vapor, los constituyentes (incluyendo vitaminas y minerales) se pueden perder. sin embargo el escaldado con vapor retiene más los nutrimentos.⁵⁷

La duración óptima del escaldado depende tanto de la conductividad térmica de la fruta, como de la temperatura del medio.⁸⁸ Un procedimiento común es de 90 °C/1-5 min; puede realizarse por vapor cuando la fruta se congela sin azúcar, o bien, en almibar hirviendo, aunque se ha demostrado que la firmeza se incrementa por escaldado a baja temperatura.^{28, 44 57}

Algunas frutas no pueden escaldarse térmicamente debido a que su tejido delicado puede dañarse durante el proceso y perder sus características de frescura. Las frutas que no responden adecuadamente a este proceso pueden escaldarse químicamente, para lo cual se emplean agentes ácidos como el cítrico y el ascórbico o agentes sulfurosos.⁶⁶

5.2.6. Envasado y/o embalado

Puede hacerse antes o después de congelar.

Si el producto se envuelve en un envase impermeable al vapor de agua antes de la congelación, no pierde humedad pero cuando entre el producto y la envoltura existe aire, el agua evaporada del producto puede depositarse en forma de escarcha en el interior de la envoltura.⁴⁴

5.3. Aditivos

5.3.1. Crioprotectores

Las bayas se vuelven suaves y exudan grandes cantidades de jugo al descongelarse; la adición de materiales coloidales como pectina y alginato de sodio o agentes edulcorantes antes de congelar puede reducir las pérdidas de peso por goteo y en algunos casos producir frutas firmes.³²

Las altas concentraciones de solutos, bajan el punto de congelación de una solución, las células en realidad no se congelan y así los cristales de hielo no se forman evitando con ello el daño estructural. Sin embargo, el problema más grande es conseguir la penetración suficiente del crioprotector en el interior de la pulpa para proteger los tejidos internos. Muchas veces las capas superficiales de pulpa pueden ser protegidos mientras los tejidos del centro pueden dañarse a

causa de la poca penetración del azúcar y se agrava por el factor de que en el centro térmico del producto, la congelación es más lenta que en las capas superficiales, quedando expuesto al daño por cristales de hielo.^{44, 56}

El proceso controlado de impregnación al vacío provee interesantes expectativas en el desarrollo de pretratamientos para modificar (en corto tiempo) la composición inicial de frutas porosas y hacerlas más resistentes a los daños causados por el proceso de congelación-descongelación; consiste en llenar las fracciones porosas del producto con una solución externa de composición deseada (crioprotector), ésto se logra por presión de vacío en corto tiempo, regresando después a la presión atmosférica mientras el producto continúa inmerso. Cuando se utiliza una solución hipertónica, ocurre una deshidratación simultánea, contribuyendo a una criostabilización debido a la reducción del contenido de agua congelable⁷⁷

5.3.1.1. Azúcar

El azúcar o jarabes pueden usarse como crioprotectores, al reducir la formación del hielo, limitan los daños estructurales durante la congelación, mejorando la textura y reduciendo los daños a membranas, así como la consecuente mezcla de enzimas y sustratos. El azúcar actúa separando el agua de las células por ósmosis, dejando muy concentradas las soluciones dentro de las células.⁴⁴

Al congelar con azúcar las frutas conservan mejor su estructura, color, olor y sabor una vez descongeladas y disminuyen las pérdidas de peso por goteo al descongelar, pues al cabo de cierto tiempo existe una considerable salida de jugo del tejido y la solución azucarada llena todos los espacios libres, aislando al producto de la acción oxidativa del oxígeno lo que ayuda a prevenir el oscurecimiento, se opone de manera puramente física a la evaporación de sustancias aromáticas, refuerza las propiedades sápidas de las diversas clases de frutas y puede actuar como un inhibidor enzimático (posiblemente por impedimento estérico)^{44, 114}. La temperatura de congelación y el azúcar pueden retardar el oscurecimiento pero no previenen la oxidación, así que suelen adicionarse antioxidantes como el ácido ascórbico y ácido cítrico, solos o combinados.^{32, 44, 56, 73}

El jarabe se considera generalmente como un mejor agente protector que el azúcar seco; si se añade azúcar seco debe hacerse 1 ó 2 h antes de congelar para que se disuelva en el jugo de la

fruta, siendo más propenso a la formación de cristales de hielo. El transporte de líquido entre las células y sus alrededores sólo pueden llevarse a cabo mientras los líquidos no se congelen (pretratamiento y descongelación); la pérdida de color a los alrededores ocurre en bayas congeladas donde las antocianinas pasan al jarabe; este cambio ocurre muy lentamente a -18°C o temperaturas inferiores, pero se acelera grandemente a altas temperaturas y en la descongelación.⁵⁶

El azúcar seco se adiciona en una proporción de 5:1 ó 4:1 (fruta:azúcar) y cuando se adiciona en jarabe se usan soluciones de 50-60°Brix; una alta concentración (65°Brix) produce encogimiento y dureza.³²

Se han efectuado ensayos para sustituir las soluciones puras de sacarosa por mezclas de azúcar-almidón, con lo que incluso a altas concentraciones de ambas sustancias, se produce una disminución del sabor dulce. Así mismo se ha ensayado agregar a las soluciones azucaradas otros aditivos con el objeto de mejorar las propiedades de la fruta congelada, entre otras, conservar el color (mezcla de 0.03% de ácido ascórbico y 0.5% de ácido cítrico), mejorar el sabor (2% de gelatina) y reducir la salida de jugo (pectina débilmente metilada).⁴⁴

Las bayas, cerezas, jugos, frutas rebanadas y purés con 45°Brix o más, pueden congelarse con o sin azúcar o jarabes.¹⁰⁴ Al sumergir en almibar frío melocotones o duraznos se puede prevenir en cierto grado el pardeamiento, sin embargo, hay frutas que no se prestan (peras, plátanos, melones y aguacate) por lo que mejor se hacen puré y se escaldan.²⁸

Las frutas en azúcar o en jarabe son particularmente sensibles a una elevación de temperatura porque su punto de congelación es muy bajo, pudiendo dar como resultado pérdida de aroma y migración de los pigmentos al jarabe.⁴⁴

Durante el mezclado de la fruta con el azúcar se incrementa el daño mecánico de las fresas rebanadas.³² En fruta troceada es más rentable usar azúcar seca, pero debe aplicarse de manera uniforme y cuidadosa.⁴⁴

El azúcar en seco se adiciona para envases institucionales (latas de 13.6 kg) y en jarabe para envases de menudeo (450-900 g).³²

5.3.1.2. Gomas^{36, 104}

Además de emplearse como crioprotectores también se utilizan en rellenos para pie congelado, reemplazando parcial o totalmente al almidón pues tiende a retrogradarse en medio líquido.

En alimentos espesados con almidón y congelados, como pueden ser los rellenos de frutas para tartas, la adición de xantano mejora en gran medida la estabilidad frente a la congelación-descongelación y disminuye la sinéresis.

La carboxi metil celulosa en una proporción de 0.2-0.5 % o en combinación con almidón de maíz, se ha empleado en durazno y cereza congelada para dar una ligera apariencia opaca en el almacenamiento.

La metil celulosa disminuye la absorción de agua por la costra formada durante el horneado, protegiendo de esta forma el sabor y estabiliza el gel después del horneado; también se utiliza para inhibir la sinéresis en frutas congeladas.

El uso de alginatos al 0.1% en jaleas de panificación reduce la sinéresis y la goma de algarrobo con almidón, o goma guar con almidón se utilizan para prevenir la deshidratación y resquebrajamiento.

La goma de tragacanto se utiliza en rellenos de frutas para tartas heladas. a los que proporciona claridad y brillo característico.

5.3.2. Ácidos

5.3.2.1. Ácido cítrico

Se emplea como potenciador de sabor, por sus propiedades quelantes y ajuste de pH. además optimiza la estabilidad del producto congelado, por su actividad antioxidante sinérgica con el ácido ascórbico y eritórbico e inactivación de enzimas; también se usa para neutralizar los residuos de sosa que destruyen el ácido ascórbico durante el pelado. Aunque no se utiliza directamente como un antimicrobiano, se ha demostrado que tiene actividad contra algunos hongos y bacterias. El mecanismo de inhibición por citrato se ha relacionado a su habilidad de quelar iones metálicos.^{15, 57,}

La acidificación con ácido cítrico es especialmente importante para fruta rebanada. Las superficies cortadas deben protegerse del oscurecimiento por inmersión en una solución de ácido cítrico al 1-2%.^{15, 154}

Está clasificado como GRAS en concordancia con BPMs (21 CFR 182.1033).^{15, 57}

Pueden usarse como secuestrante (21CFR 182.6033) las sales de calcio (21 CFR 182.1195; 182.6195), sodio (21 CFR 182.1751; 182.6751) y potasio (21 CFR 182.1625; 182.6625), como nutriente el citrato de calcio (21 CFR 182.8195) y suplemento de dieta (21 CFR 182.5195).¹⁵

5.3.2.2. Ácido eritórbito

Es un estereoisómero del ácido ascórbico y se usa como antioxidante en fruta congelada para retardar la decoloración y desarrollo de olores desagradables.¹⁰⁴

Cuando existe la necesidad de preservar el contenido vitamínico, se incorpora con el ácido ascórbico ya que se oxida más rápido, protegiéndolo de la oxidación, pero no tiene actividad vitamínica.^{15, 15}

5.3.3. Compuestos de sulfito

Los aditivos de sulfitos incluyen, dióxido de azufre, sales de sulfito, bisulfito y metabisulfito. La cantidad de sulfito a añadir se limita por su sabor, valor nutricional y legislación; su sabor automáticamente limita la cantidad añadida a menos de 500 ppm; para conservar la seguridad microbiológica y nutricional en la dieta, el uso de sulfitos está prohibido en alimentos que son buenas fuentes de tiamina, además tienen la desventaja de decolorar a las antocianinas.^{15, 16, 57}

Se utilizan ampliamente para prevenir el oscurecimiento enzimático y no enzimático, conserva el sabor, ayuda a retener el ácido ascórbico y carotenos, así como, reduce la descomposición microbiana, manteniendo el valor nutricional del producto.^{15, 57}

La acción antimicrobiana del SO₂ está basada en su interferencia con varios componentes celulares; el daño celular puede resultar de la interacción de grupos SH con proteínas estructurales e interacción con enzimas, cofactores, vitaminas, ácidos nucleicos y lípidos; los rangos de

concentración de inhibición (mg/L) del SO₂ para algunos hongos son los siguientes: *Saccharomyces*, 0.1-20.2, *Zygosaccharomyces*, 7.2-8.7; *Hansenula*. Se usa en frutas suaves, jugos y vinos; al 0.01-0.2% se usa como conservador temporal en productos de fruta; los residuos del producto final se remueven por calor o por vacío.¹⁵

Es un aceptor de oxígeno como el ácido ascórbico; reduce el oscurecimiento no enzimático del tipo Maillard reaccionando con los grupos aldehídos o azúcares para que no puedan combinarse con los aminoácidos. Principalmente se utiliza para frutas deshidratadas.⁸⁵

El ácido sulfuroso (SO₂ + H₂O → H₂SO₃) es un fuerte agente reductor que se combina con las quinonas formadas a partir de los compuestos fenólicos y así bloquea los cambios posteriores en la molécula, además reduce gradualmente la efectividad de la enzima.²⁶

No se ha encontrado que los sulfitos sean carcinogénicos o mutagénicos en estudios animales; el único efecto tóxico conocido es que destruye la tiamina, sin embargo, existe un pequeño sector de la población que es sensible a los sulfitos; esta sensibilidad se manifiesta como asma, dolores de cabeza, disnea, hipotensión, urticaria, dolor abdominal e incluso muerte.^{15, 57}

En 1986 la FDA lo retiró de la lista GRAS para su uso en frutas frescas, por lo que se han buscado alternativas para sustituir los sulfitos como la combinación de ácido ascórbico y polifosfato, ácido cítrico, o bien ácido eritorbico. La FDA recomienda un nivel máximo de SO₂ residual de 300 ppm en jugos de fruta y 2 000 ppm en fruta deshidratada.^{57, 104}

Una solución de 2 000 a 4 000 ppm de SO₂ (metabisulfito de sodio o potasio) puede usarse para sumergir las frutas por aproximadamente de 2 a 5 min; también puede usarse como gas disuelto en agua (ácido sulfuroso).¹⁰⁴

Principalmente por sus cambios en el sabor y efectos nocivos en consumidores sensibles se han propuesto otras alternativas.⁷⁵

5.3.4. Vitaminas

En las operaciones de procesamiento, principalmente el escaldado y congelación hay pérdidas significativas de ácido ascórbico y otros nutrimentos, por lo que es necesario agregar un exceso de vitaminas (aproximadamente un 30% más de la demanda nutrimental) para asegurar que el alimento contenga lo declarado en etiqueta después del periodo de almacenamiento.¹⁰⁴

5.3.4.1. Ácido ascórbico

El ácido ascórbico y sus sales de calcio y sodio se usan como aditivos nutrimentales.¹⁵

Es un inhibidor efectivo de la peroxidasa (POD) en frutas como el kiwi.¹⁰⁴ Puede usarse como antioxidante, se oxida en preferencia al catecol, actúa reduciendo quinonas, que se generan por las reacciones de oxidación de polifenoles catalizadas por la polifenol oxidasa (PPO), de nuevo en compuestos fenólicos, previniendo su conversión a pigmentos oscuros.^{15, 104}

Puede usarse solo, en mezclas (azúcar/ácido cítrico/ácido ascórbico) o en jarabes. La adición de acidulantes como el ácido cítrico y el málico no sólo inhiben la oxidación, también tienden a reducir la pérdida vitamínica.^{15, 104}

En la tabla 5.1. se muestran ejemplos de cantidades de aplicación de vitamina C en fruta:

Producto	Legislación 21 CFR	Cantidad
Salsa de manzana enlatada	145.110	60 mg/4 oz
Néctares de fruta enlatados	146.113	30-60 mg/4 oz
Jugo de ciruela pasa enlatado	146.187	30-60 mg/4 oz
Jugo de piña enlatado	146.185	30-60 mg/6 oz

Tabla 5.1. Cantidad de vitamina C permitido en frutas procesadas (Brannen, L., 1990)

Su estabilidad depende del pH, contenido de hierro y cobre, exposición al oxígeno y temperatura.¹⁵

El oscurecimiento de los jugos cítricos durante el almacenamiento ocurre una vez que el ácido ascórbico ha sido total e irreversiblemente oxidado, implica la transformación del ácido ascórbico en furfural y sus productos de oxidación mediante deshidratación y descarboxilación; el furfural así formado se polimeriza y genera productos de color oscuro, o puede también reaccionar con los aminoácidos.¹⁵

Para evitar la oxidación de la vitamina C, cuando se procesan alimentos que la contienen, deben observarse estrictamente varias precauciones; en primer lugar, debe inactivarse la enzima ascorbinasa (en especial cuando se deshidratan las frutas) y puede lograrse mediante un adecuado escaldado; se prefiere el escaldado con vapor al de con agua caliente ya que la vitamina C se pierde en grandes cantidades debido a su extracción en un gran volumen de agua; en segundo lugar, debería excluirse la presencia de oxígeno tanto como sea posible durante la preparación y el procesado de los productos alimenticios; cuando sea posible, debe efectuarse una eliminación del aire o el agotamiento del oxígeno.¹⁶

5.3.5. Calcio

La lisis celular debida a la formación de cristales de hielo durante la congelación, resulta en una pérdida de turgencia irreversible en estructuras vegetales durante la descongelación. En frutas con textura delicada, como las cerezas, se manifiesta una suavidad excesiva.^{3, 4}

Las sales de calcio se unen a sustancias pécticas para formar pectatos que hacen que los vegetales sean más resistentes a la hidrólisis ácida y ablandamiento térmico; otros procedimientos incluyen la combinación de calcio con bajas temperaturas de escaldado, este efecto se atribuye a la estimulación de la pectin metil esterasa (PME) presente en las paredes celulares que se activa a temperaturas bajas de escaldado. Esta enzima produce metanol, pectina y ácido poligalacturónico bajando el pH. La PME produce grupos carboxilo libres que se pueden unir a iones calcio y magnesio en el tejido celular produciendo pectatos insolubles que brindan mayor firmeza al tejido, revertiendo la inhibición de enzimas producida por la presencia de carboxilos libres en la pectina.^{4, 87}

El efecto del calcio se atribuye a la formación de puentes de calcio con el material péctico por el descenso en el grado de esterificación de las pectinas (por la actividad pectinesterasa) y un incremento en el contenido de catión Ca^{2+} en la pared celular.^{4, 104}

5.4. Efectos de la congelación

5.4.1. Enzimas

Para el control de las reacciones enzimáticas, la temperatura de almacenamiento de -18°C no es lo suficientemente baja, ya que algunas enzimas retienen su actividad aún a -73°C , a pesar de que su velocidad de reacción sea extremadamente baja. La velocidad de reacción es mayor en agua sobreenfriada que en agua congelada a la misma temperatura; en la mayoría de los alimentos hay una cantidad considerable de agua sin congelar a -9.5°C y a largo plazo, a esta temperatura sufriría un deterioro severo, especialmente de naturaleza oxidativa; el almacenamiento a -18°C retarda lo suficiente la actividad de las enzimas para prevenir un deterioro significativo. De lo anterior surge la necesidad del escaldado.⁸⁵

Las enzimas que son importantes en la calidad de las frutas y siguen presentando actividad a bajas temperaturas son:^{88, 104}

- Polifenol oxidasa (PPO) cataliza la oxidación de fenoles, resultando en la formación de polímeros oscuros y puede ser inactivada por acción térmica mediante un escaldado
- Lipolíticas, como lipasa y lipooxidasa, que catalizan la oxidación de los lípidos que resulta en la producción de olores y sabores desagradables y determinan la formación de productos de desdoblamiento como aldehídos, cetonas, ácidos peróxidos.
- Ácido ascórbico oxidasa: cataliza la oxidación del ácido ascórbico, que resulta en pérdidas de la calidad nutricional, puede inactivarse por escaldado.
- POD y catalasa, que se han identificado como responsables de los cambios observados en verduras y hortalizas congeladas; el escaldado puede inactivar a la catalasa y en ocasiones a la peroxidasa
- Clorofilasa: cataliza la remoción del anillo fitol de la clorofila, provocando pérdida del color verde y puede inactivarse por escaldado.
- Poligalacturonasa: cataliza la hidrólisis de enlaces glicosídicos entre los residuos de los ácidos poligalacturónicos adyacentes en pectina que resulta en el ablandamiento del tejido.
- Pectín esterasa: cataliza la desesterificación de galacturanos en pectina, lo que resulta en firmeza del tejido.

Las dos últimas son importantes en la producción de zumos congelados, hidrolizan las pectinas responsables del mantenimiento en suspensión de muchos otros componentes del zumo. Al hidrolizarse la pectina de la fruta mantenida en congelación por efecto de la pectinesterasa se produce un cambio en la textura de la fruta, resultando un estructura debilitada. Un tratamiento previo a la congelación a 90°C inactiva a esta enzima.

El daño celular durante el pelado, reducción de tamaño, etc., contribuye significativamente a los cambios químicos que ocurren, de ahí la importancia del escaldado.^{33, 88} Durante la congelación, la separación del hielo forma regiones pequeñas sin congelar por la presencia de soluciones concentradas que contienen las enzimas oxidativas, poniéndolas en contacto con los sustratos.⁷⁵

PPO es el término genérico para el grupo de enzimas que catalizan la oxidación de compuestos fenólicos produciendo color café en la superficies cortadas de frutas y vegetales. Basándose en la especificidad del sustrato, según la Nomenclatura Enzimática, se designan como EC1.14.18.1 a la monofenol monooxigenasa, cresolasa o tirosinasa y EC1.10.3.2. a la difenol oxidasa, catecol oxidasa o difenol oxígeno óxido-reductasa. Las PPO son las más responsables del deterioro del color (oscurecimiento) en alimentos vegetales, también resultan en el desarrollo de sabores indeseables y pérdidas del valor nutrimental, provocando pérdidas superiores al 50% de frutas tropicales y otras.⁷³

Las PODs y PPOs son consideradas como las principales enzimas responsables para del deterioro de la calidad de la mayoría de las frutas congeladas; su actividad disminuye con el descenso de la temperatura, sin embargo, aún a temperaturas de subcongelación las reacciones químicas que catalizan tienen lugar por el incremento de la concentración de solutos producida durante la congelación, además, la ruptura de las membranas celulares por la congelación libera las enzimas, dando lugar a la formación de otros compuestos fisiológicos. Las actividades de POD y PPO son muy estables a baja temperatura y posiblemente se reactivan aún después de un largo período de almacenamiento.^{21, 22}

La POD puede contribuir en cambios adversos en sabor, textura, color y valor nutrimental, tanto en fruta fresca como procesada; tiene varias funciones en el proceso de maduración, incluyendo cambios en la plasticidad de la pared celular y descomposición de antocianinas, además de promover la oxidación lipídica con la consecuente formación de olores indeseables.³⁹

La POD es muy estable a bajas temperaturas, pero la congelación y el subsecuente almacenamiento usualmente la inactiva, debido a la formación de puentes de hidrógeno intramoleculares que impiden su desdoblamiento, pero de forma reversible, lo que se resume en pérdida de calidad;²² además de decoloración, la interacción de los productos de oxidación, mediante PPO, generalmente tienen un efecto adverso en los productos, produciendo olores desagradables.²¹

La actividad POD puede producir la destrucción oxidativa de la vitamina C, cataliza la decoloración de los carotenoides (en ausencia de ácidos grasos insaturados) y antocianinas y cataliza la reacción peroxidativa no enzimática de los ácidos grasos insaturados, produciendo carbonilos volátiles de fuerte aroma que contribuyen a la aparición de olores a oxidado.

La lipooxigenasa participa en la destrucción de la clorofila, xantofila y otros carotenoides, así como de ácidos grasos esenciales. Los principales agentes catalíticos para la destrucción de carotenoides son las lipooxigenasas (indirectamente por vía de oxidación lipídica) y PODs (aparentemente promueven la degradación directa del β -caroteno).³⁶

No se ha demostrado la importancia de la enzima clorofilasa durante el procesamiento.¹⁶

5.4.2. Sensoriales

Los cambios que pueden causar pérdida de la calidad sensorial durante la congelación y el almacenamiento de productos congelados incluyen:⁶⁸

- Pérdida de pigmentos.
- Desarrollo de colores indeseables.
- Desarrollo de sabores desagradables causados por la oxidación de los lípidos.
- Pérdida de las características de las notas de sabor.
- Pérdidas de peso.
- Rompimiento de la estructura celular.

Los cambios de color, sabor y aroma en vegetales, se pueden deber a un escaldado insuficiente y a un tiempo de almacenamiento excesivo.⁸⁸

5.4.2.1. Color

Los cambios de color de la fruta congelada se deben a:^{56, 104}

- Degradación de pigmentos.
- Disolución del pigmento hacia el medio que lo rodea.
- Desarrollo de colores indeseables a partir de componentes no coloreados.

En hortalizas de tonalidades claras, las reacciones de pardeamiento, sean o no de origen enzimático, pueden determinar que se produzcan tonos grises o pardos, que sólo aparecen en condiciones desfavorables de almacenamiento.⁸⁸

Los cambios de color en fruta congelada se deben predominantemente a reacciones oxidativas a pesar de que las temperaturas de congelación retardan la actividad enzimática.^{32, 56}

5.4.2.1.1. Oscurecimiento enzimático

En ciertas condiciones, una serie de frutas, incluyendo manzanas, aguacates, plátanos, cerezas, duraznos y peras, cambian a un desagradable color café o gris; para que suceda debe estar presente un sustrato, enzima y oxígeno, ya sea del aire en contacto con la superficie cortada o de los espacios intercelulares dentro del tejido; los sustratos para esta reacción incluyen fenoles simples (como catecol y ácido gálico), derivados del ácido cinámico (como dopamina y ácido clorogénico), flavonoides (como catequina y epicalquina). Las enzimas que participan se conocen como PPO, fenolasa o polifenolasa.^{16, 26, 36, 56, 104}

Los sustratos de la actividad PPO son O₂ y ciertos fenoles que se hidroxilan en la posición orto adyacente a un grupo -OH existente, para oxidarse a o-benzoquinonas que son muy reactivas e inestables, por lo que con O₂ reaccionan de forma no enzimática produciendo melaninas que son pigmentos oscuros. Las o-benzoquinonas pueden reaccionar covalentemente con otros compuestos fenólicos por una adición de Michael para dar productos intensamente coloreados que varían desde el amarillo, rojo, azul, verde y negro; también pueden reaccionar con aminas aromáticas y tioles,

incluyendo los presentes en proteínas para dar una gran variedad de productos, incluyendo proteínas de alto peso molecular.⁷³

Proceso de oxidación:¹⁰⁴

1. Monofenol + O₂ → O-dihidroxifenol + H₂O
2. O-dihidroxifenol + 1/2O₂ →-O-quinona + H₂O
3. O-quinona + O₂ + aminoácidos → Polímeros oscuros (melanina)

La enzima que cataliza las primeras dos reacciones es la PPO y la tercera es una reacción de polimerización oxidativa.⁵⁵

En plátanos el sustrato principal del pardeamiento es un fenol que contiene nitrógeno, el 3,4-dihidroxifenil-etilamina. Las aminas, aminoácidos y compuestos similares que contienen nitrógeno reaccionan con las o-quinonas para dar complejos intensamente coloreados.¹⁶

Las PPO contienen cobre como grupo prostético y para que la enzima actúe debe reducirse a Cu⁺ en cuyo estado, la enzima puede unirse al O₂.⁷³

El mecanismo propuesto para la hidroxilación y dehidrogenación probablemente ocurre por vías diferentes pero se unen por un intermediario común (PPO deoxi), el monofenol se hidroxila y el difenol se oxida. El O₂ se une primero a los dos grupos Cu(I) de la PPO deoxi para dar oxi PPO en cuya distancia de enlace del O₂ a los dos grupos Cu(II) es característico de un peróxido. Los dos grupos Cu(II) de la oxi PPO se unen al átomo de oxígeno de los dos grupos hidroxilo del catecol para formar el complejo O₂-catecol-PPO. El catecol se oxida a o-benzoquinona y la enzima se reduce a la forma meta PPO; otra molécula de catecol se une a la meta PPO, se oxida a o-benzoquinona y la enzima se reduce a deoxi PPO, completando el ciclo.^{38, 73}

Los peróxidos se reducen a agua.³⁸

La reorganización de la geometría de la coordinación del cobre labiliza al peróxido polarizando el enlace O-O para dar un peróxido activado que puede hidroxilar al sustrato fenol, obteniéndose la forma meta, en la que el ligando exógeno, es el o-difenol sustrato; se da el ataque electrofílico del oxígeno peróxido a la posición orto del sustrato.¹¹³

Dada la pérdida de residuos de histidina y cobre del sitio activo en champiñones, se ha sugerido la formación de un intermediario radical libre (semiquinona).⁷³

Los compuestos flavonoides son usualmente pobres sustratos para estas enzimas, pero pueden oxidarse por vía de reacciones acopladas: por ejemplo, las antocianinas y procianidinas pueden atacarse en la presencia de sustratos favorables como ácido clorogénico, estas reacciones pueden conducir a pérdidas serias de pigmentos en algunas frutas y se ha demostrado en cerezas dulces, uvas y fresas.⁷³

Métodos empleados para minimizar esta reacción incluyen la exclusión del oxígeno (jarabe o azúcar), aplicación de ácido antes, inactivación por calor y el uso de inhibidores como sulfitos y ácido ascórbico; el primer paso de las reacciones es reversible y por esta razón el ácido ascórbico y otros agentes reductores pueden prevenir el oscurecimiento enzimático reduciendo las o-quinonas incoloras a los fenoles originales, desafortunadamente una vez que se han oxidado, pueden formarse de nuevo las o-quinonas y llevarse a cabo la polimerización oxidativa que da lugar a los pigmentos de melanina.^{26,32,73}

El pH óptimo para la mayoría de las fenolasas está en la vecindad de 7; el disminuir el pH a valores por debajo de 4 retarda considerablemente su actividad. El agente más utilizado es el ácido cítrico, parte de su acción puede deberse a su efecto quelante sobre el cobre. El ácido málico resulta aún más efectivo.¹⁵

El NaCl puede inhibir la actividad de las enzimas, pero es necesaria una concentración bastante elevada, como para que sea tolerable al paladar. El ion cloruro sí es efectivo, una solución diluida de sal retardará el desarrollo de color café por un tiempo limitado.²⁶

La peroxidasa también causa la oxidación de compuestos fenólicos que resulta en la formación de sustancias coloreadas, consecuentemente el resultado de las reacciones catalizada por peroxidasa y PPO a primera vista son similares.³⁸

Las reacciones de oscurecimiento no enzimático (Maillard) entre grupos aminos de las proteínas y azúcares reductores carecen de importancia práctica en los alimentos congelados.⁴³

5.4.2.1.2. Clorofilas

Cuando las células se mueren por procesamiento, las proteínas se desnaturalizan y el magnesio se libera, esto provoca el cambio a feofitina, esta conversión se favorece con un pH ácido. Incluso la acción de un ácido débil resulta en la eliminación del magnesio de la molécula de clorofila, formándose feofitina que posee un color pardo-oliva. El escaldado siempre causa que parte de la clorofila sea convertida en feofitina. ¹⁶

Dado que la acción de la clorofitasa es la de desprender el fitol de la molécula de clorofila, el resultado neto de su actividad sería la solubilización en agua del pigmento verde. ¹⁶

Las lipooxigenasas producen radicales libres que degradan la clorofila. ³⁶

Si actúa el oxígeno, causará la oxidación de un carbono de la estructura en la molécula de clorofila y otras posteriores acabarán rompiendo totalmente uno de los anillos oxidando los pirroles, dando lugar en último término a subproductos incoloros de bajo peso molecular. ⁴⁵

5.4.2.1.3. Carotenos

Los carotenoides son resistentes al calor, cambios en pH y no se pierden por goteo por ser solubles en grasa, pero son sensibles de oxidación que resulta en pérdida de color y destrucción de la actividad vitamínica. ⁸⁵

Procesos como la congelación activan la lipooxigenasa en tejidos sin calentar, con su consecuente desarrollo de sabores desagradables; los hidroperóxidos formados por lipooxigenasa pueden reaccionar con otros constituyentes como proteínas y causar decoloración de carotenoides y clorofilas. ³⁶

5.4.2.1.4. Antocianinas

Durante el almacenamiento congelado de frutos no escaldados, las antocianinas pueden co-oxidarse por productos de degradación resultantes de la PPO o por la oxidación de compuestos fenólicos catalizada por la POD. La decoloración de las antocianinas normalmente ocurre seguida de la deglicolización y es catalizada por glicosidasas llamadas antocianinas. ³⁶

Cuando existe ruptura de la estructura celular, al descongelar el producto, las antocianinas se disuelven en el agua que se pierde por goteo.

5.4.2.2. Sabor y aroma

Los cambios de aroma sólo se manifiestan después de almacenamientos prolongados y tienen lugar como consecuencia de reacciones oxidativas enzimáticas y no enzimáticas. A partir de lípidos se puede dar la formación de ácidos grasos libres, que ocasionan rancidez, por lo que es muy importante que las grasas permanezcan estables y que se impida en lo posible la aparición de sabor y olor a rancio por autooxidación de los ácidos grasos. Las catalasas pueden ser responsables de variaciones intensas de gusto y aroma, así como la lipoxigenasa y la lipasa determinan también sabores y aromas extraños muy notorios. La presencia, frecuentemente observada de un sabor a pescado o aceite, indica alteraciones en la fracción lipídica.^{36, 88}

5.4.2.3. Textura

Las frutas pueden sufrir una pérdida importante de turgencia y consistencia; estos cambios pueden deberse principalmente al daño físico producido por la formación de cristales de hielo, al desplazamiento del agua endógena y a la separación de las células debido al estrés experimentado por las lamelas medias.³⁵

5.4.2.4. Quemadura por congelación⁸⁸

El término quemadura se utiliza para describir la profunda desecación del tejido superficial de un alimento congelado y se manifiesta por la aparición de tonalidades blancuzcas o pardorrojizas, a medida que los pigmentos se concentran y oxidan en las capas superficiales; la superficie del tejido también toma apariencia blanca grisácea causada por la presencia de numerosas cavidades dejadas por el hielo en la superficie después de haberse sublimado; como el tejido está afectado, las capas superficiales van tomando un aspecto esponjoso con una apariencia deshidratada, las más profundas se deshidratan posteriormente, cambia la textura y existe una pérdida de las propiedades funcionales.

La existencia de un gradiente de temperatura en el interior de la cámara de un congelador aumenta la libre circulación de aire; cuando el aire se calienta, su capacidad para humedecerse aumenta y en un congelador la única fuente disponible de humedad es el hielo contenido en los alimentos congelados, el aire caliente sublima la humedad de alimentos inadecuadamente protegidos y

finalmente la deposita cuando se enfria por contacto en las superficies frías del congelador, lo que provoca un deterioro de la calidad del alimento.

La sublimación de los cristales de hielo con la consecuente quemadura por congelación es influida por diversos factores como:

- Superficie expuesta del producto congelado
- Envasado o glaseado inadecuado o inexistente
- Diferencias de temperatura entre el producto o el aire circulante y el enfriador
- Humedad relativa
- Velocidad de circulación del aire

En algunas circunstancias puede existir un gradiente de temperatura en el interior de un paquete de alimento congelado, por la formación de bolsas de aire, entonces, el alimento desprende humedad, que al congelarse, se deposita en las paredes interiores del paquete, ocasionando deshidratación del alimento al cabo de un período largo de tiempo. Esta deshidratación se puede dar incluso en envases impermeables al vapor de agua cuando entre éstos y el producto no existe un íntimo contacto, esto se puede reconocer por la formación de escarcha en dichos espacios.

Existen una serie de medidas que pueden ser aplicadas para evitar que este problema se presente durante la congelación y almacenamiento de productos alimenticios tales como: envasado adecuado, evitar fluctuaciones de temperatura y controlando la humedad relativa.

5.4.3. Valor nutrimental

Las frutas y verduras son fuentes importantes de vitaminas (A, B y C) y minerales. La conservación por congelación no parece afectar al contenido de almidón de las verduras y hortalizas, pero pueden perderse algunos azúcares en el curso normal de lavado y escaldado previos a la congelación. Y durante la conservación en el congelador algunos disacáridos forman monosacáridos, cambio que no afecta el valor nutrimental pues sucede de forma natural en el organismo. ⁸⁸

En términos generales el valor nutrimental de los alimentos congelados es bien conservado, pero puede perderse si el alimento no se manipula correctamente durante su preparación y congelación, pues ocurre una pérdida de nutrimentos en una o más etapas entre el tiempo de producción y el uso final que le da el consumidor.⁸⁸

Durante la conservación a -18°C no habrá pérdida de nutrimentos ni en verduras ni frutas congeladas, pero sí cuando la temperatura presenta fluctuaciones y sobrepasa este nivel.⁸⁸

Los nutrimentos que se pueden perder de las siguientes formas son:⁸⁸

- En solución: vitaminas, elementos inorgánicos, azúcares y proteínas solubles pueden lixivarse de los alimentos durante la preparación y escaldado previo a la congelación.
- Como resultado de hidrólisis y oxidación: los compuestos grasos expuestos a reacciones de hidrólisis y/u oxidación.

El efecto adverso más importante de la congelación y el almacenamiento en congelación sobre el valor nutrimental es la pérdida de vitaminas, en especial, el ácido ascórbico.

5.4.3.1. Vitaminas

La congelación como método de conservación de alimentos en comparación con otros métodos como la deshidratación y enlatado, puede considerarse como el método más favorable desde el punto de vista nutrimental; las altas temperaturas de procesamiento durante el enlatado provocan mayor pérdida de nutrimentos que el escaldado y almacenamiento congelado; se tienen mayores pérdidas durante la deshidratación (Tabla 5.2).^{57, 88}

Método de conservación	Número de frutas examinadas	Pérdida de vitaminas comparadas con productos frescos (%)			
		A	B ₁	B ₂	C
Congelado, sin descongelar	8	37	29	17	18
Enlatado, sólidos y líquidos	8	39	47	57	56
Secado, sin cocimiento	4	6	55	0	39

Tabla 5.2. Pérdida de vitaminas en los procesos de enlatado, secado y congelación de frutas.

(Rangel, S., 1996)

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Se ha observado que las pérdidas de vitaminas hidrosolubles de frutas congeladas ocurren no tanto en el proceso de congelación y durante el almacenamiento congelado, si la temperatura no varía por arriba de los -18°C , sino en el proceso previo a la congelación. Este proceso implica un lavado energético, en ocasiones un troceado, lo que aumenta su superficie de contacto con el ambiente y expone un gran número de células en la superficie del corte. y un escaldado térmico en el que ocurren las mayores pérdidas de vitaminas (principalmente hidrosolubles). Las pérdidas vitamínicas continuarán durante el enfriamiento, el que debe ser lo más rápido posible. Una pérdida del 30 al 40% no es rara: incluso hasta de un 50% pueden ser normales durante la preparación.⁸⁸

5.4.3.1.1. Ácido ascórbico

Dentro de los nutrientes más susceptibles de sufrir algún daño se encuentra el ácido ascórbico por lo que su pérdida es tomada frecuentemente como indicador de la pérdida de nutrientes durante el tratamiento.^{88 89 104}

La pérdida de vitamina C por efectos de la congelación parece estar determinada por la temperatura de almacenamiento, dos meses de almacenamiento a -6°C bastarían para destruir toda la vitamina C. mientras que a una temperatura de -18°C se conservaría por más de un año. Se han registrado pérdidas de vitamina C en frutas y verduras congeladas que se duplica por cada 3°C de ascenso de temperatura.⁸⁸

Se ha demostrado que la retención de vitamina C en algunas frutas blandas después de la descongelación es del 80%. particularmente si se envasaron con azúcar.⁸⁸

5.4.3.1.2. Complejo B

Sus vitaminas son hidrosolubles y la mayoría inestables a altas temperaturas, pero se mantienen después de la congelación. Las pérdidas de estas vitaminas se dan en mayor cantidad durante la descongelación y exudado de los alimentos por tratarse de vitaminas solubles en agua y al tratamiento que se haya dado al alimento previo a su congelación. Las investigaciones realizadas son principalmente en productos animales.⁸⁸

Se ha estudiado la estabilidad de las vitaminas del grupo B (tiamina, ácido pantoténico, piridoxina, ácido nicotínico e inositol) en varias frutas congeladas a -40°C y almacenadas a -18 y -20°C durante 6 meses en bolsas de polietileno; después del almacenamiento el contenido vitamínico decreció

ligeramente (persistió el 94.9-99.3% de inositol y ácido nicotínico), la piridoxina se retuvo del 78.3-97.6%, el ácido pantoténico 85.1% y la tiamina 88.2%.⁵⁶

5.4.3.1.3. Vitamina A

La vitamina A se encuentra en frutas y verduras en forma de caroteno. El efecto de la congelación y conservación subsiguiente sobre esta vitamina es mínimo y se mantiene en cantidades razonables. Se ha encontrado que el daño causado por la congelación sobre la vitamina A carece prácticamente de importancia desde el punto de vista nutricional.⁸⁸

Debido a su naturaleza altamente insaturada, los carotenoides tienen tendencia a oxidarse rápidamente, particularmente en las dobles ligaduras, el proceso de oxidación siempre ocurre en el extremo abierto antes que en el anillo terminal de ionona; a medida que se saturan las dobles ligaduras y finalmente se rompen, el color característico de los carotenoides va desapareciendo; así la destrucción final del β -caroteno resulta en la formación de ionona, una cetona con olor a violetas.¹⁶

Los radicales libres que se forman en el curso de la oxidación de las grasas pueden participar en el ataque oxidativo a los carotenoides. La enzima lipooxidasa también participa en la oxidación de los carotenoides. El factor individual más importante en la oxidación de los carotenoides es la presencia de oxígeno o reactivos fuertemente oxidantes. El efecto de la humedad es similar al fenómeno observado en la autooxidación de las grasas; la pérdida de color es mucho más veloz en ausencia de agua, los contenidos de humedad superiores a los valores de la monocapa BET tienen un efecto protector sobre los carotenoides.¹⁶

5.4.3.2. Lípidos

La descomposición de las grasas vegetales es provocada sobre todo por peróxidos con capacidad de reaccionar. A pesar del contenido bastante elevado de ácidos grasos insaturados, son mucho menos propensos a formar peróxidos que las grasas animales.⁴³

Las especies de oxígeno singlete reaccionan fácilmente con los ácidos grasos no saturados. El oxígeno singlete se puede generar por la acción de la luz en presencia de un sensibilizador como, por ejemplo, la clorofila; un sensibilizador absorbe la luz y cambia del estado fundamental singlete

al estado singulete excitado; se produce rápidamente el entrecruzamiento de intersistemas dando el estado triplete. La transferencia de energía desde el estado triplete al sensibilizador es capturada por el oxígeno triplete generando oxígeno singulete, que puede sufrir tres tipos de reacciones de oxigenación.¹¹³

- Eno, oxigenando las olefinas no saturadas para dar hidroperóxidos alílicos, con desplazamiento de la posición del doble enlace.
- Cicloadición 4+2, oxigenación de dienos cíclicos, policíclicos aromáticos y compuestos heterocíclicos para formar peróxidos cíclicos análogos a la reacción Diels-Adler.
- Dioxietano, ciertas olefinas reaccionan con el oxígeno por cicloadición 1,2, para formar un dioxietano intermediario, el cual se escinde a compuestos carbonilo. Esta reacción requiere la activación de las olefinas por grupos alcoxi o amino y la ausencia en la molécula de hidrógeno alílico muy activo.

El oxígeno singulete se involucra con la co-oxidación de carotenos, siendo la lipooxigenasa-3 la isoenzima más activa para la co-oxidación de los carotenos.³⁸

Los hidroperóxidos promueven la decoloración de la clorofila por activación de la vía lipooxigenasa.³⁸

La descomposición por oxidación no es rara en los alimentos congelados, estas pueden ser por efecto del oxígeno o bien por efecto de enzimas como las lipasas o lipoxidasas que siguen presentando actividad a temperatura de congelación.^{88, 104}

Los ácidos grasos insaturados son sujetos de un ataque directo de oxígeno a través de un mecanismo autocatalítico de radicales libres que se refleja en la producción de sabores a rancio.^{36.}

88

Las reacciones de oxidación de lípidos se efectúan más fácilmente en la capa molecular BET (Brunauer, Emmett y Teller), la cual no se elimina durante la congelación de alimentos.^{36, 56, 88}

La oxidación de lípidos puede darse fácilmente y dar como resultado pérdida de ácidos grasos esenciales y degradación de carotenos. Esta oxidación se detecta rápidamente por el consumidor debido a la formación de sabores y olores desagradables.⁶³

5.4.3.3. Minerales

La preparación, que incluye el escaldado, puede provocar pequeñas pérdidas de minerales inorgánicos.⁸⁸

5.4.3.3.1. Calcio

En términos generales la dieta de un individuo bien alimentado es rica en calcio, por lo que la pérdida de éste durante la descongelación y exudado de alimentos congelados no es significativa desde el punto de vista nutrimental.⁸⁸

6. Casos particulares

A continuación se describen los aspectos importantes referentes a frutas que se procesan por congelación: la materia prima que se emplea, productos y proceso a nivel industrial, estudios a nivel laboratorio y sus efectos por almacenamiento y descongelación; el orden corresponde a su importancia comercial. En el apéndice se resume esta información.

6.1 Bayas

6.1.1. Materia Prima

Todas las bayas, a excepción de la uva, dan prácticamente productos congelados aceptables, pero son especialmente delicadas si se congelan incorrectamente, pues al descongelarse pierden su textura y apariencia apetitosa.^{44, 54}

Las bayas para procesarse IQF deben estar firmes, maduras, completamente coloreadas y tener buen aroma.¹⁰⁴

6.1.2. Procesamiento

Las bayas requieren una velocidad elevada de congelación (5-20 cm/h), pero algunos productos pueden dañarse si la velocidad de congelación es demasiado alta (300-600 cm/h).⁵⁸ La congelación con N₂ o CO₂ mantiene sus características, dando buenos resultados.^{44, 54}

Pueden congelarse IQF en una banda con aire forzado o congelador criogénico; el preenfriamiento se realiza con aire forzado a 2°C/15-30 h para remover el calor del campo y se congelan en túnel de aire forzado a -40°C, congelador de N₂ o CO₂ o en charolas con aire forzado de -20 a -23°C, la forma original de las bayas se mantiene.¹⁰⁴

El N₂ se usa con mayor frecuencia para congelar bayas. Algunos procesadores combinan la inmersión en N₂ con un túnel de N₂ debido a la demanda competitiva de la calidad.¹⁰⁴

Los congeladores mecánicos operan a -40°C y congelan las bayas a -13°C en 10-15 min, ocurriendo una pérdida por deshidratación del 1-2%. Al congelar mecánicamente por aire forzado a -30°C hasta alcanzar una temperatura de -23°C con diferentes velocidades de aire se observó que los tiempos de congelación disminuyen a una velocidad de aire alta (19.3 min a 6.1 m/s).¹⁰⁴

La congelación lenta (24 h o más) se emplea frecuentemente para las bayas mezcladas con azúcar destinadas a la transformación, ya que la duración prolongada del enfriamiento favorece la penetración de azúcar.⁴⁴

Los productos azucarados se usan en helados, yogurt, preparados o rellenos para pastelería. La fruta entera, rebanada o machacada se mezcla con proporciones de azúcar 3:1, 4:1 o 7:1 y se rocian en la superficie después de llenar los cubos o tambores. Se ha demostrado que la sacarosa y jarabe de maíz tienen un efecto protector sobre las antocianinas y que disminuye el oscurecimiento.¹²⁴

También se puede emplear la congelación criomecánica con buenos resultados, además no es necesario preenfriar el fruto; para fresa y frambuesa se prefiere el lecho fluidizado.¹⁰⁴

Para congelar bayas exitosamente en contenedores grandes, para ser utilizadas en procesos posteriores como confitería, helados y pastelería, se deben seguir los siguientes procedimientos:¹⁰⁴

- 1 La temperatura del fruto no debe exceder 15°C al tiempo de llenado.
- 2 El contenedor debe llevarse al congelador lo más rápido posible.
3. La temperatura a la entrada del congelador debe ser menor a 21°C .
- 4 Las condiciones del congelador (temperatura del aire $<-15^{\circ}\text{C}$ y la velocidad del flujo del aire debe ser alta) y para el centro del contenedor alcanzar la temperatura de 0°C o menos en 48 h.
5. La congelación debe continuar hasta que la temperatura del centro sea de 0°C , sin tomar más de 5 días.
- 6 El almacenamiento debe hacerse a una temperatura inferior a -18°C .

Las bayas a granel se ofrecen en tubos, cubos y barriles de 250 L, por congelación en ráfaga a -40°C antes de almacenarse a una temperatura menor a -18°C ¹⁰⁴

Para la elaboración de purés, la fruta se tamiza después de machacar para remover material extraño y tener un puré homogéneo. Se empaican en cubos de polietileno o cajas de cartón con polietileno (2.93, 12.6 ó 180 kg), se congelan inmediatamente por aire forzado a una temperatura de -20 a -23°C y se almacenan a -18°C. Los purés congelados de bayas se emplean para la elaboración de jaleas y bebidas como néctares.¹⁰⁴

Los purés concentrados presentan la ventaja del aumento en los sólidos solubles; la concentración se refiere como (x); un puré de frambuesa doblemente concentrado (2x) es aproximadamente de 20°Brix, mientras que un puré típico de fresa es 4x o bien 28°Brix. Después del machacado se calienta la pulpa y se añaden enzimas para reducir los niveles de pectina, se remueven las semillas, se pasteuriza y concentra (evaporadores de efecto múltiple al vacío). Algunas veces la sacarosa se añade antes de la concentración para obtener un aumento en los sólidos solubles en el producto terminado y un puré dulce además ayuda a estabilizar las antocianinas; la ventaja de los purés concentrados es la reducción en el peso total, bajando los costos de almacenamiento y transporte. Se descongelan de 40-48 h en refrigeración, teniendo mucho cuidado para evitar el crecimiento microbiano por estar semicongelados.¹⁰⁴

Al evaluar diferentes métodos de descongelación (temperatura ambiente, circulación de aire, refrigeración, baño de agua y horno por convección) se demostró que la temperatura de las bayas congeladas aumenta rápidamente hasta el punto de fusión del hielo y se mantiene a esta temperatura hasta que todos los cristales de hielo se funden, entonces la temperatura aumenta nuevamente, la temperatura tiene un importante efecto en el tiempo de descongelación, el baño de agua es más rápido que el aire, pero la pérdida de peso por goteo se incrementa con la temperatura. Para tener mejores resultados las bayas deben descongelarse lentamente en refrigeración.¹⁰⁴

6.1.3. Condiciones especiales

Kmieciak congeló arándano, fresa y grosella a -40°C hasta llegar a una temperatura de -30°C (≈ 75 min), se almacenaron de -28 a -30°C y descongelaron a temperatura ambiente ($18-20^{\circ}\text{C}/6-7$ h), por refrigeración ($2-4^{\circ}\text{C}/18$ h) y por microondas; en la mayoría de los casos no hubo diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas (materia seca, acidez y antocianinas), pero hubo pérdidas de vitamina C (10%) y antocianinas al descongelar con microondas, además de presentar mayor exudado; a nivel organoléptico el mejor método es la descongelación a temperatura ambiente, seguida por la refrigerada y al final la de microondas.⁵⁰

Fraczak y Zalewska-Korona congelaron fresas y frambuesas a -30°C en un túnel (horas), fluidización (1-3 min), en azúcar (75-90 min), N_2 (-180°C) y CO_2 (-78°C) durante 15 segundos. Las frutas congeladas en túnel se envasaron en bolsas de papel y almacenaron por 6 meses a -25°C ; en azúcar se envasaron en latas a -18°C y las demás muestras en bolsas de polietileno y almacenaron (-20 a -22°C); los resultados revelaron que el contenido de vitamina C está influenciado por el procedimiento de congelación: las mayores pérdidas se tuvieron en la congelación por túnel (3.6% después de congelar, 38.4% para fresa y 61.3% para frambuesa), la mayor retención se obtuvo al congelar con azúcar (2.5% después de congelar y 25% al término del almacenamiento), para frambuesa con N_2 con una pérdida del 1.3% después de congelar y 8.6% después de 6 meses de almacenamiento.⁵⁶

La pérdida de ácido ascórbico en fresas y frambuesas varía del 15 al 25% después de 12 meses de almacenamiento a -18°C y se reporta que la descongelación produce una pérdida de 2-10% en grosella negra, zarzamora y frambuesas.⁵⁶

Se observaron diferencias significativas en pérdida de peso por goteo entre variedades de grosella; la grosella roja varía de 9.8-26.7%, mientras que la grosella oscura varía de 0.0-7.17% ⁵⁶

6.2. Fresas (*Fragaria mannanasse*)

6.2.1. Materia prima

No todas las variedades de fresa son aptas para congelar.

6.2.2. Procesamiento

La mayoría de las fresas congeladas se destinan a procesos ulteriores; dependiendo del producto final se siguen diferentes procedimientos de congelación: para la manufactura de jaleas o helados se rebanan, adiciona azúcar, empacan en jarabe y se congelan en latas de 13.6 kg o barriles de 227 L; para la elaboración de puré de fresa sin semillas se emplean aperturas de tamiz de 0.027-0.033 in y con semillas mallas de 0.045-0.060 in. Se pasteurizan a 88°C/1.5-2 min y se enfrían de 15-21°C; algunos no se pasteurizan para mantener el sabor fresco de la fresa, aunque puede presentarse oscurecimiento durante la descongelación.¹⁰⁴

El lavado y escurrido de las frutas deja una pequeña capa de humedad en la superficie, lo que es muy conveniente ya que así se previene su deshidratación durante la congelación, por otra parte, esta humedad, que aún permanece en los frutos, puede hacer que se peguen entre sí, por lo que se debe congelar en túneles apropiados como lo son los de lecho fluidizado.⁷⁷

Como las fresas son más frágiles que otras bayas, los tiempos de exposición son críticos, una temperatura de -9.4°C en el centro del producto. debe alcanzarse en no más de 24-36 h. El almacenamiento debe ser a una temperatura inferior a -18°C para una vida de anaquel razonable ya que el sabor y el color se pierden rápidamente si la temperatura de almacenamiento es demasiado elevada.¹⁰⁴

La fruta entera IQF se usa para abastecer el mercado institucional y venta al menudeo. Esta congelación emplea aire forzado y congeladores de ráfaga de N₂ o CO₂. El almacenamiento se debe hacer a baja temperatura y mantenerla estable para prevenir que se peguen y pierdan las características IQF.¹⁰⁴

Las fresas pueden ser eficientemente enfriadas a temperaturas criogénicas por aspersión con N_2 pues no se detectan daños a simple vista, la temperatura crítica de congelación se encuentra entre -40 y -60°C, ya que debajo de ésta, el producto puede fragmentarse; temperaturas entre -100 y -150°C se recomiendan para obtener un producto en polvo.⁵⁵

La congelación criomecánica recomendada es utilizar un túnel de N_2 (1 min) y posteriormente un túnel de lecho fluidizado (8-9 min); de esta forma se aprovechan las ventajas de ambos sistemas de congelación.⁵⁶

La queja principal de los consumidores de rebanadas y fruta entera congelada es la pérdida de textura; los principales factores que influyen son la variedad, la madurez, preparación, congelación y descongelación.²² Se observó que al rociar $CaNO_3$ sobre las plantas de fresa durante la floración se reduce la pérdida de peso por goteo.⁵⁶

En algunos países es común congelar las fresas con azúcar para conservar su color; un procedimiento usual es añadir azúcar seco en una proporción 4:1 ó 5:1, aunque también se recomienda, como alternativa, el uso de edulcorantes de maíz para mejorar la textura y jarabe de maíz para prevenir la oxidación e intensificar el sabor. Es importante que la congelación se lleve a cabo inmediatamente después de mezclar la fruta con el azúcar o hidrocoloides.^{32, 56}

6.2.3. Condiciones especiales

Plocharski demostró que fresas congeladas y almacenadas (-20°C/3 meses), 2 h después de la recolección tienen mayor acidez titulable, ácido ascórbico, antocianinas, peso drenado, textura, color e intensidad de sabor que las congeladas después de 5 ó 6 h tras la recolección; sin embargo después de 6 meses de almacenamiento no se detectaron diferencias en los aspectos sensoriales. El almacenamiento a 6°C/6 días antes de la congelación con atmósfera controlada tiene un ligero efecto negativo en la calidad sensorial de la fruta congelada, en comparación con la fruta congelada 6-8 h después de la cosecha. El almacenamiento de la fruta por períodos prolongados antes de refrigerar produce pérdidas por podredumbre y desecación de la fruta fresca.⁵⁵

Füster y Préstamo sumergieron frutas en solución acuosa de azúcar (30%), almidón (0.3%) y agar (0.3%) por 15 s y en solución acuosa de CaCl_2 (0.28%) y NaCl (0.5%) por 15 s seguidos y después 15 segundos en jarabe al 30%, se congelaron y almacenaron durante 11 meses. En todos los tratamientos no hubo deterioro de textura al comparar con fruta fresca; las muestras inmersas en las soluciones de azúcar, almidón y agar presentaron un mejor sabor que las muestras tratadas con NaCl y CaCl_2 antes del jarabe de azúcar.⁵⁶

El rebanar las fresas antes de introducir las en cloruro de calcio o soluciones de pectina de bajo metoxilo, resulta en mayor firmeza y mejor retención de color de la fruta cuando se compara con la fruta entera.⁵²

Morris estudió el efecto de inmersión en CaCl_2 (0.18% de Ca), pectina de bajo metoxilo (0.3%) y sacarosa (40° Brix), observándose mejor firmeza usando Ca y pectina, la pérdida de peso por goteo se redujo por los tres tratamientos. El sumergir la fruta entera o rebanada en Ca o agua, seguida de congelar con o sin pectina tiene un ligero efecto en el color, el uso de vacío (172 mm Hg) durante el periodo de inmersión resulta en frutas más oscuras, mientras que el calentamiento de las frutas a 70°C antes de congelar da un color más tenue.⁵⁶

Fresas congeladas en N_2 o freón por Holdsworth resultaron tener una mejor textura y menor pérdida de peso por goteo que al congelarse por aire forzado; el efecto positivo de la alta velocidad de congelación se mantuvo durante 12 meses de almacenamiento a una temperatura entre -20 y -30°C; sin embargo velocidades de congelación mayores a 1.5 cm/h no retuvieron la calidad de forma significativa.⁵⁶ La textura de fresas congeladas se retiene mejor a -23 3°C.³²

El uso de 20% de azúcar intensifica el color, sabor y consistencia en fresas congeladas⁸³. Utilizando una proporción 4:1 se retiene más el ácido ascórbico; las pérdidas de vitamina C después de congelar son del 2.5% mientras que después de 6 meses de almacenamiento a -18°C son del 25%.⁵⁶

Los cambios de color debido a pérdida de pigmentos han sido bien estudiados, así como la pérdida de aroma.

El contenido de antocianinas decrece con la congelación y almacenamiento subsecuente;³² sin embargo, fresas congeladas (IQF a -25°C), envasadas con azúcar (bolsas de polietileno), almacenadas ($-15^{\circ}\text{C}/3$ años) descongeladas ($20^{\circ}\text{C}/24$ h) y recongeladas a -80°C (para advertir el efecto de descongelación) tiene un efecto estabilizante en el contenido total de antocianinas y reduce el oscurecimiento.¹¹⁴

El color brillante naranja-rojizo de las fresas es difícil de mantener por la susceptibilidad a la degradación de los pigmentos principales de la fresa (P-3-G); la pérdida de color se acelera con el oxígeno, calor, iones metálicos, tipo de azúcares presentes, ácido ascórbico, fenoles totales, etc. En fresas congeladas la temperatura de almacenamiento y la presencia de oxígeno son los factores principales que influyen en la degradación del color; los cambios en calidad son causados por la degradación de antocianinas y el desarrollo de compuestos poliméricos oscuros.³²

Los componentes volátiles más importantes responsables del aroma de la fruta fresca y congeladas profundamente detectados por cromatografía de gases y espectroscopía de masas (GC-MS, por sus siglas en inglés) son: metil y etil butanoato, metil y etil hexanoato, trans-2-hexenil acetato, trans-2-hexenal, trans-2-hexen-1-ol, 2,5-dimetil-4-metoxi-3(2H)-furanona; la congelación profunda generalmente resulta en una reducción de la concentración de la mayoría de las sustancias aromáticas, pero se detectaron cantidades más altas de 2,5-dimetil-4-metoxi-3(2H)-furanona que con la fruta fresca. Se congelaron fresas profundamente y almacenaron a $-12^{\circ}\text{C}/9$ meses y se detectó que el material de envase tiene un efecto significativo en la retención del aroma. Otros volátiles detectados son el 2,5-dimetil-4-metoxi-2,3-dihidrofuran-3-ona y 2,5-dimetil-2,3-dihidrofuran-3-ona, mientras que la concentración de nerolidol se incrementa y la concentración de ésteres disminuye cuando se compara con fruta fresca; no se observó incremento en los ácidos debido a la congelación y descongelación. Para este estudio se descongelaron a 0°C y no se observó aumento en el contenido de metil y etil butanoatos, lo que no concuerda con estudios anteriores, esta

dispandad se atribuye a diferencias en los métodos experimentales.⁵⁶

Ueda e Iwata detectaron pérdida de aroma después de un día de almacenamiento en fresas congeladas a -20°C , en una variedad se llegó a un máximo de olor indeseable después de un mes de almacenamiento y en otra variedad en una semana; al determinar volátiles, se observó que los ésteres que dominan en la fresa fresca fueron escasamente detectados en fruta congelada y descongelada, mientras que los compuestos carbonílicos se mantienen en niveles similares y hubo cambios en la composición de ácidos grasos o lípidos polares neutros.⁵⁶

La concentración de ácidos volátiles incrementa durante la congelación y descongelación, en particular se incrementa el contenido de ácido hexanoico, este ácido y otros compuestos C_6 son las sustancias aromáticas secundarias formadas por oxidación enzimática del ácido linoleico y linoléico en presencia de oxígeno después de la ruptura de los tejidos que no ocurre en la fruta entera; también se encontraron en mayor concentración en la fruta congelada el etil y metil butanoatos.⁵⁵

Análisis sensoriales del material congelado resultan en pocas diferencias respecto a las frescas, siendo ligeramente menos intensas las características de olor, acidez, dulzura y sabor desagradables.⁵⁵

Se observaron cambios en los contenidos de sacarosa, glucosa y fructosa durante la descongelación de fresas; la sacarosa disminuye en un 70% por la actividad invertasa, aumentando los azúcares reductores, manteniéndose constante el contenido de azúcares totales.¹⁰⁴

El contenido de azúcares depende en gran medida de las condiciones de descongelación, pues se hidroliza la sacarosa liberando glucosa y fructosa, la descongelación con corriente de aire a 30°C , microondas o agua a 35°C produce una menor inversión de la sacarosa, a pesar de que los tiempos son menores que al descongelar por refrigeración a 4°C , la actividad invertasa se mantiene.⁵⁶

6.2.4. Almacenamiento

Por la adición de azúcares para la congelación no se pueden hacer comparaciones directas de los parámetros químicos con fruta fresca; después de 6 meses de almacenamiento todas las frutas mostraron mayor pH y menor acidez que las frutas frescas.⁵⁶

Después de 12 meses de almacenamiento de rebanadas de fresa a -18°C , la tiamina y piridoxina disminuyeron, mientras que el ácido fólico, niacina, ácido pantoténico y riboflavina no se afectaron, por lo que se puede decir que la congelación y almacenamiento congelado por periodo de un año no produce un decremento importante en las vitaminas del grupo B.⁵⁶

Malinowska no detectó cambios en la estabilidad de la vitamina C durante la congelación rápida (12-15 cm/h), almacenamiento congelado (-19 a $-24^{\circ}\text{C}/12$ meses) y descongelación de fresas. Después de 9 meses en frutas descongeladas en la oscuridad a temperatura ambiente disminuyó el contenido de vitamina C 1% y la descongelación en exposición a la luz llevó a pérdidas del 12.7%.⁵⁶

No se observan diferencias en el contenido de fibra detergente neutra, celulosa, lignina, hemicelulosa o pectina durante la congelación y descongelación.⁵⁶

Uno de los principales problemas es la pérdida de agua por goteo al descongelar y ésta depende, en gran medida de la velocidad de congelación. Se realizaron pruebas con frutas congeladas por aire a -18°C y congeladas rápidamente con nieve de CO_2 , las fresas perdieron 37.1% con aire y 29.7% con CO_2 ⁵⁴; también se ha notado que la pérdida de peso por goteo se incrementa conforme aumenta el peso de la fruta.⁵⁶

Blonsky evaluó el efecto del material de envase (bolsa de polietileno y bolsa de papel con polietileno) almacenando las fresas de -25 a $-30^{\circ}\text{C}/1$ año, mostrando que la combinación de polietileno/cartón da características superiores en color, materia seca, consistencia, pigmentos y vitamina C.⁵⁶

6.3. Cerezas (*Prunus avium* L)

6.3.1. Materia prima

Los factores de calidad de las cerezas congeladas, según el USDA, incluyen color, tamaño, simetría, defectos y clase. El color se describe razonablemente uniforme, brillante y característico de las cerezas frescas; tamaño y simetría se refieren a la forma y diámetro de las cerezas descongeladas y la clase al grado de madurez, textura, firmeza y espesor relativo de la pulpa.^{32 104}

La variedad Montmorency es el líder para congelar. aunque las variedades English Morello y Early Richmond también se congelan. Las variedades de cereza oscura (Bing, Lambert y Black Republican) y las cerezas ligeramente dulces (Napoleon y Rainier) también pueden ser congeladas ^{32 104}. Las variedades más pigmentadas son las más aptas para congelar rápidamente porque mantienen el color fresco.⁵⁶

6.3.2. Procesamiento

Las cerezas congeladas se usan para proveer a la industria de la panificación y otros procesos asociados cuando lo requieran, se ofrecen en latas de 13.6 kg combinadas con azúcar o jarabe en una proporción 5:1 y se congelan por aire forzado ¹⁰⁴

Para otro rubro de empresas se destinan cerezas semicongeladas para yogurt y helados para lo cuál se utilizan métodos de inmersión directa, reduciendo los costos de operación.¹⁰⁴

Las cerezas se transportan a la industria en agua fría con hielo para reducir pérdidas y hacerlas más firmes para el deshuesado.¹⁰⁴

Las cerezas dulces tienden a oxidarse y oscurecerse durante la congelación y descongelación; este oscurecimiento, es particularmente evidente en cerezas ligeramente dulces, y se asocia generalmente con el escaldado o decoloración como resultado de daños durante su manejo. La oxidación causa cambios en el sabor de las cerezas. Las cerezas que se utilicen para congelar deben manejarse rápidamente para prevenir la oxidación ya que el deshuesado agrava el problema.³²

Para evitar la oxidación enzimática que lleva al oscurecimiento se requiere de un proceso de

escaldado; una temperatura típica es de 71°C en un túnel de vapor, pero si no se lleva a cabo pueden utilizarse tratamientos químicos como la combinación de ácido cítrico (350 mg/15 oz) y ácido ascórbico (200 mg/15 oz).¹⁰⁴

Las cerezas se empaquetan al 90% de la capacidad del contenedor para soportar la expansión durante la congelación.³²

Generalmente las cerezas se deshuesan para facilitar la penetración del jarabe de azúcar. Cuando se congelan con hueso, la piel se debe rayar o romper de tal forma que permita la penetración del azúcar.³² La cubierta de azúcar o jarabe da protección a las cerezas, reduciendo el oscurecimiento y prepara al producto para su procesamiento; las cerezas se pueden sumergir en jarabe de 50-60° Brix, enfriar y congelar; el almacenamiento final debe mantenerse a 0°C o menos.¹⁰⁴

La congelación criomecánica recomendada para cerezas es por inmersión en N₂ antes de entrar al congelador mecánico por lecho fluidizado.¹⁰⁴

La fruta IQF se destina al mercado al menudeo en paquetes de 16-32 oz. Los paquetes de cerezas congeladas tienen varias ventajas sobre las cerezas enlatadas, ofrecen flexibilidad, retención del sabor, mejor apariencia y mejor firmeza; la retención del color en las cerezas congeladas es particularmente notable, proporcionando un producto atractivo para hoteles y restaurantes.^{32, 104}

Al congelar cerezas en un túnel a -35°C con una velocidad de aire de 4 m/s, almacenar a -20°C y descongelar al chorro de agua se obtuvieron cerezas comparables con la fruta fresca.¹⁰⁴

Los paquetes comerciales de cerezas congeladas requieren largos periodos de tiempo para alcanzar en el centro del producto un nivel aceptable de -4°C o menos, por lo que se requiere preenfriar el fruto. Deben congelarse a la temperatura más baja posible o -23.3 a -29°C; después de congelar deben almacenarse en un rango de temperatura de -17.5 a -21°C, las fluctuaciones de temperatura y la recongelación deben evitarse ya que pueden afectar la textura y provocar la deshidratación de la fruta.³²

6.3.3. Condiciones especiales

Si las cerezas se escaldan a 60-70°C antes de congelar, su textura mejora significativamente y contrario a lo esperado, se observó que cerezas pasteurizadas (80-100°C/18-45 min) tuvieron mayor firmeza que las escaldadas.⁶⁵

Alonso demostró que pretratamientos por inmersión en soluciones al 10 y 100 mM de CaCl₂ durante 10 min, con ácido cítrico (0.5%) y ácido ascórbico (0.03%), previenen la pérdida de firmeza de cerezas (variedad Pico Colorado) congeladas (convección forzada de vapor de N₂ a -70°C hasta alcanzar la temperatura de -24°C durante 33 min, con una velocidad de congelación de 49.3°C/h; la temperatura inicial fue de 3.1°C), envasadas a vacío (-5 bar) para prevenir la oxidación y daños en la superficie por deshidratación, en bolsas de polietileno, almacenadas a -24°C/6 meses y descongeladas lentamente a 5°C/14 h.⁴

Un pretratamiento térmico (70°C/2 min) seguido de inmersión en una solución de calcio mejora la firmeza de la pulpa, a pesar de que no se encontraron diferencias en la firmeza externa, color, ni olor. La inmersión en CaCl₂ incrementa la concentración de Ca²⁺ en la pared celular, intensificando el efecto de los pretratamientos térmicos sobre la actividad pectinesterasa.³

En cerezas congeladas en un túnel por aire forzado y almacenadas en bolsas de polietileno a -20°C, después de 4 meses de almacenamiento, hubo cambios en la intensidad de color pero no se detectaron otros compuestos coloridos por cromatografía en capa fina y con un colorímetro no se detectaron diferencias.⁴²

6.3.4. Almacenamiento

Al comparar la pérdida de peso por goteo de cerezas con hueso y deshuesadas maduras y sin madurar congeladas a -20°C y almacenadas por 6 meses, se observó que la cantidad de jugo perdido fue mayor en las frutas con hueso y sin madurar.⁵⁶

Cerezas enteras se empacaron en bolsas de polietileno y congelaron a -20°C/1 año; se descongelaron por microondas y no se detectaron diferencias significativas de color entre tres

variedades alemanas; el contenido de antocianinas aumenta, en frutas menos maduras, la biosíntesis de antocianinas continúa durante el almacenamiento congelado.⁵⁶

En cerezas congeladas y almacenadas 7 meses se observó que el β -caroteno disminuye conforme aumenta el tiempo de almacenamiento.¹¹¹

Se reporta que la descongelación produce una pérdida de 2-10% de vitamina C.⁵⁶

6.4. Mango (*Mangifera indica*)

6.4.1. Materia prima

Las variedades indias Alphonso, Baneshan y Dushehari son las más adecuadas para congelar;⁸⁶ mientras que en México la pulpa de mango de la variedad Tomy tiene mejores cualidades para la congelación y conserva mejor sus propiedades durante el almacenamiento, mostrando diferencia significativa favorable en el contenido de azúcares totales, acidez y color con respecto a la variedad Kent⁴⁴

Con mangos cosechados en la etapa preclimática (verde), madurados y congelados por aire forzado a -40°C y almacenados durante 4 meses a -18°C se obtiene un producto aceptable.⁵⁶

6.4.2. Procesamiento

El puré es un producto importante, ofreciéndose también el puré concentrado. La conservación de puré no pasteurizado no es buena para un periodo prolongado de almacenamiento debido a la actividad enzimática residual; la acidificación puede ayudar a mantener la calidad por un tiempo. Se puede envasar asépticamente en bolsa y caja, y almacenar a temperatura ambiente, pero un almacenamiento a baja temperatura preserva mejor la calidad¹⁰⁴

En la congelación de mango se obtienen productos de diferente calidad, las rebanadas uniformes y de buen color (calidad 1) se congelan directamente (IQF a -30°C) y se aprovechan las rebanadas heterogéneas (calidad 2), que se cortan en tiras o cubos y se les añade azúcar (1:1 ó 2:1) antes de congelar (-30°C).⁴⁴

Las rebanadas de mango verde son un postre muy popular en Taiwan; la correcta selección de la materia prima es esencial para obtener un producto de buena calidad: mangos verdes con semillas con suavidad prematura. Una vez lavados, pelados y cortados en mitades, se procede a quitar la semilla y se rebana de 0.2-0.3 mm; las rebanadas se sumergen en una solución salina al 2%/6 h y después en un jarabe de 32°Brix a 5 °C/1 día y se congelan rápidamente a -40 °C con aire forzado y se almacenan a -18 °C.¹⁰⁴

El mango congelado también se utiliza para la elaboración de néctares.

6.4.3. Condiciones especiales

Las variedades de mango Alphonso, Pairi, Padry y Mulgoa han sido estudiadas por Kripal al congelarse en rebanadas cubiertas con un jarabe de azúcar de 20-50°Brix, conteniendo ácido cítrico y ascórbico. enlatadas, congeladas a -30°C y almacenadas a -18°C, obteniendo un producto que retiene el color, sabor y textura; la velocidad de congelación y la adición de ácido ascórbico no tuvo influencia en la calidad, las rebanadas con un jarabe de 40°Brix presentaron mayor sabor que los de jarabe de 20°Brix.⁸⁶

La congelación de rebanadas de mango Harden con jarabe de sacarosa tiene un sabor mejor que con un jarabe de sacarosa y glucosa.⁸⁶

Rebanadas de mango Kensington se congelaron con y sin adición de azúcar en un congelador por aire forzado a -30°C, obteniéndose que las rebanadas en jarabe al 20% tuvieron una mejor calidad y mejor textura.⁸⁵

Las condiciones estandarizadas para la congelación criogénica de rebanadas de mango de las variedades Dashehari y Baneshan utilizando N₂ (-196 °C) son cinco segundos y luego mantenerlo en el vapor (-95 °C) por 20 segundos para tener un producto sin resquebrajamiento. Sin embargo, este proceso es laborioso y no costeable comercialmente ya que un kilogramo de rebanadas de mango consume 1.5 L de N₂.⁶⁵

Mangos de las variedades Alphonso y Totapuri fueron pelados y rebanados (2 x 1 in) para evaluar el efecto de tratamientos ácidos y con CaCl_2 cloruro de calcio; se utilizó un congelador por aire forzado a -30°C hasta que el centro del producto alcanzó -10°C , se almacenaron a $-18^\circ\text{C}/3$ meses y la descongelación se efectuó en un refrigerador ($4^\circ\text{C}/17\text{h}$). Se obtuvo que el uso de un jarabe de 40°Brix con 0.1% de ácido cítrico es la condición óptima para la retención del color y sabor, pero la textura del producto no es satisfactoria. La zona de máxima cristalización se observó en el rango de 55-70 min en la variedad Alphonso y de 30-40 min para la variedad Totapuri, esta diferencia se refleja en la calidad de la textura de las rebanadas. Al comparar con mango enlatado se observó que evidentemente la congelación daña menos el producto desde el punto de vista de color, sabor y textura. El calcio resultó benéfico para la firmeza de las frutas, pero los panelistas reportaron un ligero sabor amargo.⁸⁶

Gorgatti probó diferentes jarabes de sacarosa ($25-40^\circ\text{Brix}$), glucosa y combinación de ambos, con una solución de ácido ascórbico al 0.05% antes de introducir las rebanadas al jarabe; se almacenaron a $-20^\circ\text{C}/4$ meses. No se observaron cambios significativos de pH y contenido de azúcares totales ($^\circ\text{Brix}$) durante el estado congelado, pero se observó un ligero decremento de la acidez total durante el almacenamiento. El ácido ascórbico declinó ligeramente en el almacenamiento en jarabe de sacarosa pero se redujo en un 30% en el jarabe de sacarosa con glucosa (50:50); la PPO estuvo activa durante los primeros 30 días de almacenamiento y no se observaron cambios de color durante el almacenamiento.⁵⁶

Marín estudió los cambios químicos y bioquímicos que ocurren durante la congelación y almacenamiento congelado de rebanadas de mango de cuatro variedades; se congelaron por ráfaga a -40°C sin pretratamiento, almacenaron en bolsas de polietileno a $-18^\circ\text{C}/120$ días y descongelaron a $20^\circ\text{C}/3$ h; las actividades de la PPO y POD se redujeron durante la congelación y no se reactivaron durante el almacenamiento congelado. Después de 4 meses se detectó un 40% de la actividad inicial de la POD y un 20% de la PPO en la fruta descongelada; la velocidad de inactivación de la PPO durante la congelación fue menor que la de POD, de lo que se concluye que los cambios deteriorativos en atributos sensoriales y nutrimentales de la actividad de PPO no son importantes en mango congelado.⁵⁶

Las pérdidas de ácido ascórbico durante la congelación oscilaron del 25-50% para 3 variedades; la cuarta variedad no mostró pérdida significativa; durante el almacenamiento la reducción de ácido ascórbico fue del 57-73%.⁵⁵

Se estudió la estabilidad de la pulpa de mango a la congelación de la variedad Dashehari, observando un oscurecimiento gradual al cabo de pocos meses, sin embargo estos cambios no se observaron en el variedad Langra (tiene una concentración de ácido cítrico similar a Dashehari enriquecido con ácido cítrico); la adición de ácido ascórbico suprime el oscurecimiento durante el almacenamiento. Pulpa congelada y almacenada a -29°C retiene el color durante 4 meses de almacenamiento, a diferencia de la pulpa congelada a -20°C y almacenada a -18°C ; la adición de 0.3% de ácido cítrico previene parcialmente la formación del color oscuro por su acción quelante.⁵⁶

Cubos de mango (1 cm^3) se sumergieron en un jarabe de sacarosa y solución de pectina al 2% durante 10 min antes de congelar (corriente de aire a -18°C con una velocidad de 4.5 m/s) y se almacenaron durante 5 meses empleando para descongelar temperatura ambiente y microondas; los azúcares totales, acidez y degradación pectínica presentan un sensible aumento; las primeras dos variables por efecto del uso de solución y por la pérdida de humedad que se da mes con mes, la última variable por el método de descongelación y cualitativamente por fluctuaciones de temperatura durante el almacenamiento. Las variables como vitamina C, color y firmeza presentan un marcado descenso en su valor por efecto de método de descongelación. La aplicación de pectina resultó efectiva en el control de pérdida de peso y conservación de firmeza y evitó daños por congelación (oscurecimiento por quemadura), pero afecta desfavorablemente el contenido de azúcares totales, acidez y color de la pulpa, aspectos importantes en la aceptación del producto. La aplicación de jarabe estándar de sacarosa resultó ser cualitativamente efectivo en el control de daños por congelación (oscurecimiento por quemadura), mientras que las pérdidas de peso resultaron ser mayores y la firmeza menor en las pulpas, con respecto al uso de solución de pectina; por otro lado mostró aspectos favorables en el contenido de azúcares totales, acidez, sólidos solubles totales y color en la pulpa.⁴⁴

6.4.4. Almacenamiento

Las rebanadas de mango congeladas mostraron un descenso del 38-48% de la cantidad de proteína al compararla con las rebanadas de fruta fresca.²²

La descongelación por microondas (390 w, 3.5-4 min) en pulpa de mango con respecto a temperatura ambiente mostró diferencias deteriorando sensiblemente el valor nutricional (vitamina C) pero reduce considerablemente los exudados.⁴⁴

Se ha realizado un trabajo extenso para determinar la persistencia de la provitamina A después de la congelación y durante el almacenamiento congelado; el contenido de β -caroteno decrece durante el almacenamiento de mango.⁵⁶ La retención de β -caroteno disminuye por el proceso de congelación a -40°C por aire forzado y almacenado a $-18^{\circ}\text{C}/4$ meses.⁸⁶

Ramana comparó la retención de carotenoides de pulpa de mango congelada (envasada en bolsas de polietileno con y sin ácido ascórbico por un congelador de placas a -40°C , almacenada a $-18^{\circ}\text{C}/14$ meses) con pulpa enlatada y descongelada en refrigeración por un día. Después de 10 meses, la retención de carotenoides fue mayor en la pulpa enlatada (93.2%), seguida de la congelada con ácido ascórbico (85%) y pulpa natural congelada (64%); las pérdidas se incrementaron con el almacenamiento posterior, el color también decreció, siendo el congelado natural inferior al enlatado, mientras que la pulpa adicionada de ácido ascórbico no mostró diferencia.⁵⁶

El almacenamiento debe ser a una temperatura inferior a -18°C . El oscurecimiento es un problema importante a temperaturas mayores debido al oscurecimiento no enzimático.¹⁰⁴

6.5. Manzana (*Mallus pumila*)

6.5.1. Materia prima

Se emplean variedades suavemente ácidas con poca tendencia al pardeamiento como Jonathan, Cox's, Orange, Golden delicious, Schweizer orange y Baldwin; con madurez completa, pero consistentes y jugosas.⁸⁴

6.5.2. Procesamiento

El mercado para manzana ligeramente procesada como rebanadas se está incrementando rápidamente, pero por los problemas de procesamiento como oscurecimiento, pérdida de humedad y cambio de textura se hace necesario buscar otras tecnologías.⁶⁴

Las manzanas refrigeradas, congeladas o dehidrocongeladas en rebanadas representan únicamente el 15% de las manzanas procesadas; se preparan de forma muy similar a las enlatadas, excepto que no sufren tratamiento térmico ya que para prevenir el oscurecimiento se someten a varios tratamientos.¹⁰⁴

Las rebanadas para venderse a granel se tratan al vacío y se escaldan (1.5-3 min) en un jarabe de azúcar al 40% con ácido ascórbico, envasan en jarabe de azúcar al 30% o azúcar en seco 1:10 en latas de 13.6 kg, se congelan y almacenan a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.^{84,104}

La temperatura inicial de congelación de manzana Golden varía de -0.7 hasta $-4.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, su calor latente de fusión es de 196.4 J/g y su porcentaje de agua sin congelar es de 27.4% .⁹⁴

Normalmente se tratan con 0.2-0.4% de SO_2 solo o en combinación con 0.1-0.2% de CaCl_2 . El ácido ascórbico ha sustituido al SO_2 satisfactoriamente, pero es costoso. Las manzanas tratadas con calcio resisten el oscurecimiento enzimático y la descomposición microbiana.¹⁰⁴

Las rebanadas IQF se tratan usualmente con un baño de bisulfato de sodio, se introducen en tanques de vacío que se empuja y rompe con una salmuera o solución de ácido ascórbico y pasan a

la unidad IQF: se pueden utilizar diferentes medios de congelación como lecho fluidizado, N₂ y CO₂. Se empacan en latas o cajas y se almacenan a -18°C o menos.¹⁰⁴

Al congelar criogénicamente con N₂ (-196°C) no se observó resquebrajamiento sin importar la forma ni el tamaño (cubos y cilindros pequeños y grandes) del producto.⁵⁵

Se usa una proporción de azúcar seca 5:1, cuando se congelan en contenedores de 13.6-22.7 kg en un congelador de aire forzado a -23°F.¹⁰⁴

6.5.3. Condiciones especiales

Con la finalidad de sustituir el escaldado, pues ablanda la rebanada, Serratos evaluó la posibilidad de aplicar dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO); se eliminó el aire de los segmentos de manzana por vacío antes del tratamiento con los gases. El uso de CO resultó inefectivo para la inhibición de la catalasa y PPO, mientras que el uso de SO₂ tuvo un efecto similar al escaldado térmico, inhibiendo por un período de 195 días a -8 y -18°C. Para eliminar el olor y sabor indeseable del SO₂ remanente, se diluyó con N₂ gaseoso y otras mezclas de gases para inactivar las enzimas; los tratamientos fueron de 25, 50 y 75% de SO₂/15s y después de 10 días de almacenamiento a -18°C, ambas enzimas se inactivaron al 100%. El SO₂ residual fue de 36-72 ppm con el tratamiento menor; cuando las muestras se trataron en una atmósfera con 25% de SO₂ y sometida a vacío por un período de 4 h el SO₂ residual llegó a niveles no detectables y no se observó regeneración de catalasa ni PPO.⁵⁶

Se estudiaron los efectos de la congelación y descongelación evaluando parámetros de textura y exudado en manzanas en relación a la calidad de la fruta. Se congelaron rápidamente, en un túnel que baja la temperatura a -20°C en una hora y en un congelador convencional (13 h), después de congelar se almacenaron a -20°C/6 meses y se descongelaron con aire (4 y 20°C) y por microondas. los procesos de descongelación se detuvieron cuando la fruta alcanzó -4°C. La velocidad de congelación fue importante para mantener la textura y retener los líquidos; el método de descongelación tuvo un efecto menor en la calidad, sin embargo la congelación rápida en combinación de la descongelación rápida por microondas parece ser la combinación más apropiada

de tratamiento para proveer una textura más firme y menor pérdida por exudados.⁶⁶

Phan y Mimault estudiaron tres variedades de manzana Granny Smith: francesa, chilena y sudafricana, se cortaron cinco a seis cilindros (3 cm de altura, 2 cm de diámetro) a partir del centro y se envolvieron con una cubierta plástica. La temperatura inicial de congelación fue de -2.4°C , debido a la velocidad de enfriamiento, el equilibrio térmico se alcanzó después de 15 minutos, tomando menos de 2 min la formación de una barrera de hielo en la superficie; las partículas de hielo en suspensión de la solución sirvieron de núcleos e iniciaron el crecimiento de hielo a partir de la superficie, a través del fluido extracelular.⁷⁰

Se utilizó el método de impregnación por vacío de crioprotectores (mosto de uva y soluciones de pectina) durante 30 minutos (5 min a 50 mbars seguidos de 25 min a presión atmosférica), en manzanas de la variedad Granny Smith (muestras cilíndricas de 2 cm de altura y diámetro) congeladas por inmersión en N_2 (-210°C). La impregnación por vacío promueve cambios en la composición en los poros de las frutas por lo que puede utilizarse para ajustar la composición (modificación de pH, introducción de conservadores, descenso de actividad acuosa, etc.) si así se requiriera. Las propiedades mecánicas de la fruta se afectaron, especialmente cuando se concentró con las soluciones crioprotectoras, en ambos casos se presentó una reducción notable del agua congelable, mejorando la resistencia de la fruta al daño por congelación. El empleo de criostabilizadores como pectina mejora la estabilidad del producto (al incrementar la T_g de la fase líquida). Además refuerza la estructura de la matriz celular por la formación de puentes intercelulares a partir de geles de polisacáridos.⁷⁷

Durante la congelación de manzanas se siguió el cambio que sufre el agua subcelular por resonancia magnética nuclear (NMR) y se observó que el compartimento vacuolar es el primero en congelarse, mientras que los compartimentos de citoplasma y pared celular solamente se congelan a muy baja temperatura, además no se presentó el fenómeno de histéresis.⁴⁶

6.5.4. Almacenamiento

Uno de los principales problemas es la pérdida de agua por goteo al descongelar y ésta depende, en gran medida, de la velocidad de congelación. Se realizaron pruebas con frutas congeladas por aire a -18°C y congeladas rápidamente con nieve de CO_2 , las manzanas tuvieron pérdidas del 1.3% y 0%, respectivamente.⁵⁴

En manzanas congeladas y almacenadas 7 meses se observó que el β -caroteno disminuye conforme aumenta el tiempo de almacenamiento.¹¹¹

6.6. Durazno (*Prunus persica*)

6.6.1. Materia prima

La selección de la variedad adecuada y apropiada de madurez a la cosecha, seguida de una madurez de 18-31 N de firmeza de pulpa son adecuadas para durazno y rebanadas de nectarina en fresco.^{42 104}

Generalmente se usan duraznos deshuesados y de variedades de pulpa amarilla por tener mejor textura y baja susceptibilidad al oscurecimiento oxidativo.¹⁰⁴

El durazno de la variedad Sunbeam es deficiente en fenoles, es decir, menos susceptible al oscurecimiento enzimático.²⁶

6.6.2. Procesamiento

La congelación se realiza usualmente en paquetes de 14.5-18 kg, aunque también están disponibles en grandes barriles ¹⁰⁴

Los métodos de congelación son, en general, los descritos para cualquier fruta a granel. Se congelan rebanadas IQF para mercados especiales y rebanadas con jarabe (5:1) conteniendo 250 ppm de ácido ascórbico para protegerlo del oscurecimiento, que es el factor limitante de su procesamiento.¹⁰⁴

Los niveles de 0.05-0.2% de ácido ascórbico en un jarabe de manzana o de pera son usualmente efectivos dando tiempo de penetración antes de congelar, suele acompañarse de ácido cítrico. Duraznos tratados no se oscurecen en almacenamiento congelado a -18°C durante dos años.⁸⁵

La temperatura de almacenamiento debe ser inferior a -18°C si se quiere extender la vida de anaquel.¹⁰⁴

6.6.3. Condiciones especiales

Phan y Mimault estudiaron los efectos de la congelación y descongelación evaluando parámetros de textura y exudado en duraznos en relación a la calidad de la fruta. Se congelaron rápidamente, en túnel que baja la temperatura a -20°C en una hora y en un congelador convencional (13 h), después de congelar se almacenaron a $-20^{\circ}\text{C}/6$ meses y se descongelaron con aire (4 y 20°C) y por microondas, los procesos de descongelación se deluvieron cuando la fruta alcanzó -4°C ; la velocidad de congelación fue importante para mantener la textura y retener los líquidos; el método de descongelación tuvo un efecto menor en la calidad, sin embargo, la congelación rápida en combinación de la descongelación rápida por microondas parece ser el tratamiento más adecuado para proveer una textura más firme y menor pérdida por exudados.⁵⁶

Se pueden obtener productos enlatados de calidad similar a los obtenidos a partir de fruta fresca, si los duraznos almacenados a una temperatura de -20°C se descongelan completamente en pocos minutos y manteniendo al mínimo el intervalo de tiempo entre el pelado y la pasteurización, para prevenir el oscurecimiento enzimático, los duraznos descongelados deben pelarse con sosa por un tiempo muy breve (45 s al 7%), mas que por inmersión en un período largo (90 s) en sosa al 1%.⁵⁶

6.6.4. Almacenamiento

La pérdida de ácido ascórbico en duraznos es del 15 al 25% después de 12 meses de almacenamiento a -18°C .⁵⁶

Duraznos en jarabe con un antioxidante perdieron en promedio 23% de vitamina C y sin jarabe 69% durante 8 meses de almacenamiento.⁵⁴

6.7. Kiwi (*Actinidia chinensis*)

6.7.1. Materia prima

La fruta que no reúne los estándares de calidad de exportación se destina al mercado en fresco o se procesa, principalmente como rebanadas enlatadas en jarabe, puré, pulpa y rebanadas congeladas, jugo o licor.³⁹

Se ha enlatado satisfactoriamente pero en las rebanadas de kiwi congelado hay menos diferencia en apariencia y sabor si se compara con la fruta fresca.³⁹

Las variedades más adecuadas para congelar son la Hayward y Bruno.²³

6.7.2. Condiciones especiales

Fuster estudió los cambios bioquímicos, sensoriales y pérdida de peso por goteo durante el procesamiento y almacenamiento prolongado de rebanadas de kiwi (variedades Abott y Hayward); las rebanadas (6-8 mm) se congelaron a -40°C por medio de aire forzado (5.5 m/s), hasta alcanzar la temperatura de -20°C (≈ 20 min), se empacaron en bolsas de polietileno y se almacenaron a $-18^{\circ}\text{C}/11$ meses. Se obtuvieron productos de buena calidad con diferencias significativas entre las variedades con respecto a pérdida de peso por goteo y color. Los mejores resultados se obtuvieron con la variedad Hayward que mostró menos pérdida de agua y el mismo color que antes de congelar, mientras que la variedad Abott se tornó verde-amarillenta; la pérdida de peso por goteo permaneció casi sin cambio del quinto al décimo primer mes.³⁹

No se observaron pérdidas de sabor y en cuanto a firmeza, decrece con el tiempo de almacenamiento en la variedad Abbott, mientras que la Hayward mantuvo la firmeza hasta el séptimo mes de almacenamiento antes de decaer. Ambas variedades fueron aceptables después de 11 meses de almacenamiento, pero la Hayward mostró un ligero aumento en los valores de aceptación.³⁹

El tejido de kiwi contiene pequeñas cantidades de polifenoles y un alto nivel de ácido ascórbico, previniendo la oxidación, sin embargo, se observó un ligero aumento en la activación de la POD, que en el almacenamiento subsecuente se inactivó posiblemente por la formación de puentes de hidrógeno intramoleculares; no se observó su regeneración después de 9 meses de

almacenamiento en la variedad Abbott, mientras que la variedad Hayward mostró una regeneración después de 5 meses de almacenamiento, pero aún así no se alcanzaron los niveles de POD de la fruta fresca ³⁹

En frutos almacenados (-18°C/6 meses) y descongelados en refrigeración se obtuvieron, por HPLC, patrones similares de xantofilas, clorofilas y carotenoides carbonados que la fruta fresca, el color de las rebanadas congeladas fue ligeramente menos verde y amarilla que las rebanadas frescas.⁵⁵

Cano analizó 4 variedades en cuanto al cambio de color y estabilidad de pigmentos de rebanadas congeladas a -40°C y almacenadas por periodos superiores a un año; la congelación provocó un decremento en el contenido total de clorofila (7-10%) de las variedades estudiadas (Monty, Bruno, Abbot y Hayward); conforme decrece el contenido de clorofila, el color cambia a tonalidades amarillas⁵⁶ Al congelar a -18°C y empacar al vacío, se observó que el orden de degradación de pigmentos era clorofila y xantofila, posteriormente los derivados del β -caroteno; las variedades Hayward y Bruno son las más adecuadas para congelar porque retienen más el color.²³

Robertson estudió la estabilidad de la clorofila y feofitina en puré de kiwi empacado en contenedores de plástico. congelado inmediatamente (-18°C) y almacenado (-18°C/68 días); se descongeló a temperatura ambiente por una noche y se observó que aún a temperaturas de congelación hay una degradación extensiva de clorofila ⁵⁶

Venning investigó la estabilidad de clorofila y ácido ascórbico en pulpa de kiwi de la variedad Hayward en envase comercial de Nueva Zelanda (polietileno de 70 μ m) y envase laminado (PET de 12 μ m, Al de 98 μ m, LLDPE de 65 μ m) La descongelación se realizó en baño de agua (15°C/ 15 min) hasta que la pulpa alcanzó una temperatura de -2.5 a -1.5°C. El tipo de envase no mostró efecto en la degradación de clorofila o cambios de color durante un año a -18 y -25°C, observando un descenso significativo en el contenido de clorofila a -9°C. Se estudiaron los cambios en ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico en pulpa almacenada a -18 y -25°C, observando un descenso del valor inicial de ácido ascórbico de 89-104 mg/100 mL a 75 mg/100 mL durante 55 semanas de almacenamiento, no se observaron cambios en el contenido de ácido dehidroascórbico (25 mg/100

mL). En el almacenamiento a -9°C , se observó que el envase tiene un mayor efecto en la estabilidad del ácido ascórbico, mientras la pulpa envasada con laminado perdió el 26%, en polietileno se perdió el 88%; se observaron diferencias menores en el efecto de la deaereación ya que a pesar de este paso, el oxígeno está presente. Se reportó un decremento en ácido ascórbico de 48-43 mg/100 g durante 6 meses de almacenamiento a -15°C , asociado a la oxidación por el oxígeno atrapado en el contenedor.⁵⁶

Pulpas tratadas bajo condiciones "ideales" (deaereadas, envase laminado, temperatura de almacenamiento de -35°C) se compararon sensorialmente con pulpas tratadas de forma "comercial" (envase de polietileno y temperatura de almacenamiento de -18°C); el almacenamiento duró 12 meses y no se observaron diferencias en la intensidad del sabor y olor al comparar con la fruta fresca. Las propiedades sensoriales de pulpa de kiwi son relativamente estables durante el almacenamiento prolongado bajo condiciones comerciales apropiadas y no son evidentes las ventajas del uso de deaereación, mejorar la barrera del envase o almacenar a temperaturas muy bajas.⁵⁶

6.8. Piña (*Ananas comosus*)

6.8.1. Materia prima

La piña se conserva por congelación durante un período de tiempo muy limitado. La composición de azúcares juega un papel muy importante en la calidad y aceptación por parte del consumidor.¹³

La variedad Cayena Suave que crece en Puerto Rico y otras regiones tropicales es la principal variedad utilizada para este fin. La variedad Española Roja que proviene de Cuba desarrolla olores desagradables cuando se congela.^{14, 104}

Las piñas para este proceso deben estar en un óptimo grado de madurez, con un color amarillo, buen aroma y sabor, además de estar libre de defectos como corazón negro, manchas, etc. Para la congelación de rebanadas, se escogen semitraslúcidas, con color intenso por considerarse más atractivas y tener el mejor sabor.¹⁴

6.8.2. Procesamiento

Se congela en rodajas o cubos que se envasan por lo menos con una solución de azúcar al 40% o en azúcar seco en una proporción 1:4.⁸⁴

Se prepara igual que la fruta enlatada, se corta en pedazos rectangulares y se coloca en latas o contenedores grandes con jarabe y se congela; las latas se congelan en un túnel de aire forzado y los contenedores en un congelador de aire forzado.¹⁰⁴

6.8.3. Condiciones especiales

Para evaluar los cambios en azúcares solubles de dos variedades de piña (Española Roja y Cayena Suave), la fruta se rebanó (1.0 ± 0.2 cm) y se cortó en pequeños pedazos, se envasó en bolsas de plástico (Polyskin X, 12 μ m de espesor), se selló, congeló en un cuarto frío a -18°C y almacenó durante 1 año; se descongeló a temperatura ambiente antes de analizarlo ($20^{\circ}\text{C}/3\text{h}$). Los resultados muestran que después de un año de almacenamiento hubo una diferencia significativa en el contenido de azúcares de la variedad Cayena Suave al compararla con la fruta fresca, el proceso de congelación incrementó los valores de sacarosa, glucosa y fructosa, mientras que en la variedad Española Roja, a pesar de presentar un ligero incremento en los azúcares sus valores fueron similares a la fruta fresca. El incremento de azúcares se explica por su fácil extracción después de la ruptura de la pared celular causada por la formación de cristales durante la congelación, sin embargo, los cambios en el contenido de azúcares por este proceso no son importantes.¹³

Al comparar la influencia del proceso de congelación (cuarto frío a -18°C y congelador por aire forzado a -50°C , con una velocidad de 5.7 m/s, durante 25 min) en rebanadas de piña (1.0 ± 0.2 cm) envasadas en bolsas de plástico (Polyskin X de 12 μ m de espesor) y almacenamiento ($-18^{\circ}\text{C}/12$ meses; la descongelación se llevó a temperatura ambiente durante 90 min), en el color y calidad sensorial de las variedades Cayena Suave y Española roja, se observó que no existe diferencia en el método de congelación empleado pero sí entre las variedades; concluyendo que ambas son aptas para congelar.¹⁴

6.9. Plátano (*Musa cavendishii*)

6.9.1. Materia prima

El plátano se consume ampliamente en fresco, pero la cantidad que se procesa es insignificante en comparación del mercado internacional de fruta fresca. La etapa apropiada de maduración para congelar plátano variedad enana se caracteriza por una firmeza de 1.24 kg, una relación de pulpa/cáscara de 1.30 y el color de la cáscara 70% verde y 30% amarillo.²⁰

6.9.2. Procesamiento

Comúnmente se congela como puré, además de puré de plátano concentrado congelado con o sin bolsa de semillas, hay en el mercado otros productos congelados como: cubos, rebanadas, mezclas (rebanadas y puré, cubos y puré, etc.), así como rebanadas IQF. El puré individual concentrado tiene la mejor retención de sabor del fruto fresco que cualquier otro producto de puré, pero es inconveniente de usar, principalmente para los consumidores de grandes volúmenes.^{84, 104} El puré a granel se envasa en tambores de 230 kg con bolsas de polietileno, pero su calidad no es tan buena como el puré congelado empacado en pequeños contenedores. Algunos procesos de preparación de puré requieren un tratamiento térmico medio y la adición de bisulfito de sodio, ácido cítrico y sorbato de potasio para evitar el oscurecimiento. Existen varias formulaciones para estabilizar el puré con gomas o estabilizantes; se emplean gomas y azúcares para secuestrar parte del agua en el puré y bajar el punto de congelación de la mezcla.^{20, 104}

6.9.3. Condiciones especiales

Al estudiar la influencia del grado de maduración en la congelación de rebanadas, se detectó inactivación de la POD del 60% en todos los niveles de maduración; las frutas postclimáticas mostraron una inactivación similar de la PPO, mientras que en frutas preclimáticas no se detectó inactivación.²⁰

Se estudiaron cambios en el contenido individual de azúcares (fructosa, glucosa y sacarosa) durante la congelación y almacenamiento de plátano variedad enana, con la finalidad de observar los efectos de tratamientos térmicos como escaldado por vapor de agua (pieza completa, 5 min, baño de hielo 5 min y rebanado) y por microondas (rebanado, 2 min, baño de hielo para enfriar 5 min) antes de congelar. las rebanadas fueron de 15 mm de espesor y se empacaron al vacío en bolsas de Polyskin X (30 x 20 cm) y congeladas en un túnel semiexperimental a 5.7 m/s y -40°C; durante 25 min y

almacenados a -18°C ; se observó un ligero descenso en el contenido de azúcares totales sin diferencia significativa entre los pretratamientos aplicados. Las frutas congeladas tienen un valor nutricional similar, en el contenido de azúcares a las frutas frescas, por lo que este proceso puede ser una importante alternativa comercial para la utilización de estas frutas exóticas.¹⁰⁹

Se evaluaron dos pretratamientos térmicos (microondas a 650 w/2 min y por inmersión en agua hirviendo durante 11 min) seguidos de un enfriamiento (en agua corriente durante 5 min) para determinar el deterioro de color de rebanadas (0.5 cm de espesor) de plátano, variedad enana, congeladas a -24°C , envasadas en bolsas de polietileno y almacenadas durante 24 h. El producto escaldado en agua hirviendo no presentó oscurecimiento, mientras que el empleo de microondas provocó oscurecimiento en la parte central por reacciones de Maillard (oscurecimiento no enzimático), por lo que no es un procedimiento aplicable a plátano destinado a ser congelado a pesar de inhibir a POD y PPO.²⁰

6.10. Papaya (*Carica papaya*)

6.10.1. Materia prima

La papaya tiene un alto contenido de agua unida (37-43% al comparar con menos del 10% que tienen otras frutas) Esta agua tiene alta afinidad a componentes estructurales como polisacáridos y proteínas, manteniéndose sin congelar hasta -20°C . Los cambios en calidad asociados a productos procesados de papaya incluye el desarrollo de olores desagradables y modificación de color tras un período prolongado de almacenamiento. Se prefieren las papayas femeninas a las hermafroditas por la inactivación de su sistema enzimático.^{21, 22} La pulpa de la variedad Roja presenta ventajas sobre la variedad Amarilla en tolerancia a la congelación y en la conservación de sus propiedades durante el almacenamiento al tener una diferencia significativa favorable en el contenido de azúcares totales y acidez.⁴⁴

6.10.2. Procesamiento

El puré de papaya se prepara a partir de fruta madura; la fruta tibia se rebana y machaca para separar la pulpa de la cáscara, se acidifica y se pasa a través de un intercambiador de calor para inactivar las enzimas antes de enfriar y congelar a -13°C . Se ha reportado que cuando la papaya se hace puré, algunas de las enzimas responsables de la pérdida de olor y sabor, gelifican el puré e incrementan la acidez.²¹ El puré de papaya se almacena a -23°C .¹⁰⁴

6.10.3. Condiciones especiales

La congelación de rebanadas de papaya no produce inactivación de la POD; después de 30 días de almacenamiento se observaron incrementos en las actividades solubles y específicas de la POD, siendo más del 30% de la actividad que se observa en la fruta madura. La actividad soluble específica de la PPO se incrementó en un 35% después del proceso de congelación-descongelación, después de 30 días de almacenamiento esta actividad fue similar a los valores de la fruta fresca original.²²

Se evaluaron los efectos de la congelación (congelador criogénico a -80°C hasta alcanzar -24°C , ≈ 12 min) de rebanadas de papayas hermafroditas y femeninas (variedad Sunrise, grupo Solo) envasadas al vacío en bolsas de plástico (Poliskin X 12) y almacenamiento ($-24^{\circ}\text{C}/12$ meses) sobre la PPO y POD; la descongelación se realizó bajo condiciones controladas ($4^{\circ}\text{C}/2$ h), observando un incremento significativo en la actividad de ambas enzimas. Durante el almacenamiento, la actividad de la PPO soluble mostró un incremento hasta los 9 meses de almacenamiento en los tejidos hermafroditas, mostrando una activación significativa de POD a los 3 meses de almacenamiento; mientras que las muestras de tejido femenino mantuvieron un descenso continuo de la actividad de POD soluble, la actividad PPO mostró un incremento arriba de los 12 meses. Dado al incremento en las actividades enzimáticas de PPO y POD y a la alta estabilidad de sus isoenzimas, principalmente en frutas hermafroditas a temperaturas de subenfriamiento, se sugiere que para largos períodos de almacenamiento se empleen papayas femeninas.²¹

Se estudiaron cambios en el contenido individual de azúcares (fructosa, glucosa y sacarosa) durante la congelación y almacenamiento de papaya (grupo Solo, variedad Sunrise) rebanada (espesor: 15 mm), envasada al vacío en bolsas de Polyskin X (30 x 20 cm), congelada en un túnel semiexperimental a 5.7 m/s y -40°C durante 25 min y almacenada a $-18^{\circ}\text{C}/1$ año; se observó un incremento en el contenido de azúcares totales durante la congelación y un descenso de sacarosa, por invertasa, seguido de un aumento en fructosa y glucosa, lo que indica que durante la congelación, la maduración y la actividad invertasa no se inactivan con un incremento en el contenido de azúcares totales y cambios en la composición de sustancias pécticas.¹⁰⁹

Para evaluar los cambios que sufre la papaya tras el periodo de congelación/descongelación, se rebanó (10 x 35 x 15 mm) y congeló criogénicamente a -80°C hasta alcanzar una temperatura de -24°C (≈ 15 min); las rebanadas congeladas se empacaron al vacío en bolsas de plástico (Poliskin X 12) y se almacenaron a -18°C . La congelación produjo un incremento en el brillo como consecuencia de la ruptura celular, sin embargo, durante el almacenamiento y descongelación controlada de las piezas, el color fue cambiando continuamente a un naranja pálido; los sólidos solubles se incrementaron en la fruta congelada y descongelada debido al daño mecánico en los polisacáridos de la pared celular; la acidez titulable también se incrementó en el estado congelado, lo que se atribuye a la acción enzimática o a la precipitación de sales inorgánicas en el citoplasma durante la congelación y almacenamiento. La congelación produjo una ligera modificación en el contenido de proteína, sin embargo, tras 30 días de almacenamiento los valores de proteína, total y soluble, fueron cercanos a los valores iniciales.²²

Cubos de papaya (3 cm³) se sumergieron en un jarabe de sacarosa y solución de pectina al 2% durante 10 min antes de congelar (corriente de aire a -18°C con una velocidad de 4.5 m/s) y se almacenaron durante 3 meses empleando para descongelar temperatura ambiente y microondas; los azúcares totales, sólidos solubles totales y acidez presentan un incremento que resultó estadísticamente significativo debido a pérdidas de peso y uso de solución; la aplicación de pectina resultó efectiva en el control de pérdida de peso y conservación de firmeza y evitó daños por congelación (oscurecimiento por quemadura), pero afecta desfavorablemente el contenido de azúcares totales, acidez y color de la pulpa, aspectos importantes en la aceptación del producto. La aplicación de jarabe estándar de sacarosa resultó ser cualitativamente efectiva en el control de daños por congelación (oscurecimiento por quemadura), mientras que las pérdidas de peso resultaron mayores y menor la firmeza de la pulpa, con respecto al uso de solución de pectina. Por otro lado, mostró aspectos favorables en el contenido de azúcares totales, acidez, sólidos solubles totales y color de la pulpa.⁴⁴

6.10.4. Almacenamiento

La descongelación por microondas (390 w, 3.5-4 min) en pulpa de papaya con respecto al ambiente detenera sensiblemente el valor nutrimental (vitamina C) pero reduce considerablemente los exudados.⁴⁴

6.11. Pera (*Pyrus communis*)

6.11.1. Materia prima

Las variedades congelables son Williams, Christ clapps, Gellerts butter y Bosc.⁸⁴

6.11.2. Procesamiento

Se escaldan generalmente en una solución de sacarosa.⁸⁴

La temperatura inicial de congelación de la pera de la variedad Rocha es de -0.6 hasta -5.3°C , su calor latente de fusión es de 191.9 J/g y su porcentaje de agua sin congelar es de 26.3% .⁹⁴

6.11.3. Condiciones especiales

Se estudiaron los efectos de la congelación y descongelación evaluando parámetros de textura y exudado en relación a la calidad de la fruta. Las peras se congelaron rápidamente, en un túnel que baja la temperatura a -20°C en una hora y en un congelador convencional (13 h), se almacenaron a -20°C /6 meses y descongelaron con aire (4 y 20°C) y por microondas; los procesos de descongelación se detuvieron cuando la fruta alcanzó -4°C . La velocidad de congelación fue importante para mantener la textura y retener los líquidos; el método de descongelación tuvo un efecto menor en la calidad, sin embargo, la congelación rápida en combinación de la descongelación rápida por microondas parece ser la más apropiada para proveer una textura más firme y menor pérdida por exudados.⁵⁵

6.12. Zarzamora (*Rubus ursinus*)

6.12.1. Materia prima

Las variedades Black Butte, Kotata, Marion, Ranui y Waldo se congelaron como IQF y como puré; los productos de Black Butte resultaron en un color menos negro en comparación con las otras variedades, en otros ensayos se juzgó inaceptable por su pérdida de color y sabor, por lo que la variedad Black Butte no se recomienda para ser procesada o bien debe mezclarse para alcanzar estándares industriales.³⁷

Se observó mayor pérdida de peso por goteo y colapso en zarzamoras totalmente maduras descongeladas que en las ligeramente inmaduras; el tamaño no afecta, sugiriendo que las diferencias en la condición de la fruta son más importantes que las variedades en la determinación de pérdida de peso por goteo.⁵⁵

6.12.2. Procesamiento

Las zarzamoras para venta al menudeo se empaquetan con jarabe de sacarosa al 50% aproximadamente en una proporción 6:4 en contenedores de 300-470 mL.¹⁰⁴ También se procesan IQF para mercados determinados.¹⁰⁴

6.12.3. Condiciones especiales

Frutas después de cosechar se enfriaron en hielo, almacenaron (1°C/1 noche), empaquetaron en contenedores de polietileno, congelaron, almacenaron a -13°C y descongelaron en refrigeración (24 h) y a temperatura ambiente (3-4 h). Después de 6 meses de almacenamiento algunas frutas se tomaron rojas aún en estado congelado, esta tendencia se asocia a fruta que no está lo suficientemente madura; el jugo obtenido de la fruta contiene 20-30% de antocianinas menos cuando se descongelan lentamente en refrigeración que cuando se descongelan rápidamente a temperatura ambiente, sin embargo, las diferencias por método de descongelación son menores que por variedades, por lo que no tiene importancia práctica.⁵⁶

Martí y Aguilera evaluaron tres métodos de congelación en zarzamora (estática a $-23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, placas a -50°C y por inmersión en N_2), las velocidades relativas entre los tres métodos fueron 1:5:15 respectivamente; no se encontró efecto de la velocidad de congelación en la pérdida de peso por goteo, sin embargo, hubo diferencia en textura por congelación rápida en comparación con la lenta; el N_2 retuvo mejor la textura y minimizó la pérdida por goteo en las zarzamorras descongeladas, además de que los dos métodos rápidos no dañaron las paredes celulares.⁵⁶

Sapers estudió frutas de diferentes variedades para analizar las causas de variación en las pérdidas de peso por goteo durante la descongelación después de 7-9 meses de almacenamiento a -13°C ; en una estación, las pérdidas de peso por goteo oscilaron de 1-30%, aumentando conforme aumenta la madurez de las frutas pero no depende del tamaño de las frutas. Hubo una correlación negativa entre las pérdidas de peso por goteo y la pectina insoluble, pero después de dos años de estudios es inconsistente: las frutas variaron considerablemente en el contenido de Ca (total, soluble e insoluble), pero no se encontró una relación entre el contenido de Ca y la pérdida de peso por goteo. La fracción de pectina insoluble fue considerablemente mayor durante la estación de crecimiento con menor pérdida por goteo (13%) comparada con un año de alta pérdida de peso por goteo (23.8%). el contenido de pectina insoluble fue de 0.19 y 0.13% respectivamente. El examen microscópico reveló una relación inversa en el grosor de la capa epidérmica celular y la tendencia de la fruta descongelada a gotear.⁵⁶

6.13. Aguacate¹⁰⁴ (*Persea americana*)

6.13.1. Materia Prima

El aguacate presenta un reto para la congelación comercial debido a su alto contenido de aceite, que puede enranciarse, y por ser susceptible al oscurecimiento por su sistema oxidativo tan activo.

Uno de los principales problemas en el procesamiento de aguacate es su rápida decoloración, siendo la primera medida para evitarlo la selección de la variedad; la variedad Zutano decolora a los pocos minutos de abrirlo, mientras que la variedad Hass tarda menos y es la variedad preferida para procesar.

6.13.2. Procesamiento

El preenfriamiento de aguacate se realiza a 5°C/24 h, se madura a 20-22°C con una HR del 85-90% de 3 a 6 días y posteriormente se enfría a 5°C.

En aguacate no puede utilizarse la inactivación térmica de las enzimas, debido a que ante el menor calentamiento se desarrolla un sabor intensamente amargo, tampoco puede disminuirse demasiado el pH por razones de sabor, el ácido ascórbico resulta parcialmente efectivo y los productos refrigerados de aguacate se oscurecen en sus superficies libres. En este caso, el envasado en atmósfera de N₂ evita la coloración superficial.⁵⁰ Tampoco se someten a pasteurización o esterilización ya que el calentamiento causa una degradación rápida del sabor y al tener un pH de 6.2-6.7 puede darse el crecimiento microbiano.

El puré es un producto exitoso. Su vida de anaquel se intensifica bajando el pH a 4.5 por la adición de jugo de limón, jugo de lima y sal, así como empacarlo en nitrógeno; el envase al vacío también se utiliza.

Para elaborar guacamole, los aguacates se sumergen en un baño de hipoclorito de 200 ppm y el cuarto de procesamiento se mantiene una temperatura de 12°C; la pulpa se mezcla con los ingredientes para tener el sabor característico uniforme, se empaca, se congela rápidamente para conservar la textura del producto y almacena a -22°C.

La salsa de aguacate se prepara de forma similar al guacamole, pero se mezcla con agua, gomas, espesantes y especias, teniendo una viscosidad de 8000-12000 centipoises y se empaca en jarras o cajas de 1.89 L, se congelan por aire forzado, sellan y almacenan a -18°C.

Las mitades de aguacate congelado se procesan en México para algunos clientes institucionales de Estados Unidos, se producen a partir de aguacates Hass, sumergidos o asperjados en una solución antioxidante y congelados rápidamente, posteriormente se empacan en bolsas de multicapas coextruidas con alta barrera en atmósfera de nitrógeno, selladas y almacenadas a -18°C. El

problema que tiene este producto es que una vez descongelado (refrigeración de 24-48 h) y removido de la atmósfera de nitrógeno, mantiene su color verde por tiempo limitado, Su textura se vuelve muy suave y tiene un sabor distinto que se vuelve más fuerte conforme se mantiene más tiempo descongelado.

Los productos de aguacate se empacan de diferentes formas:

1. Latas de acero no. 10, de 2.7 kg.
2. Contenedores de polietileno 1.3 ó 2.7 kg.
3. Bolsas de plástico coextruido con alta barrera. la multicapa contiene PVDC como barrera de gas, en presentaciones de 900 g, 1.3, 2.2, 2.7 y 3.6 kg.
4. Cubos de polietileno 11.3 kg.
5. El dip de aguacate original y el estilo mexicano en contenedores de aluminio o cartón de 180 mL.

En el mercado al menudeo se incluyen en paquetes de comidas preparadas con guacamole (30 mL) o salsa (90 mL).

6.14. Ciruela (*Prunus domestica*)

6.14.1. Materia prima

Se congelan pequeños volúmenes de ciruela nubiana y ciruela pasa para el mercado institucional y para su procesamiento posterior.¹⁰⁴

El uso de ciruelas sin madurar reportan menos pérdidas de peso por goteo.⁵⁶

6.14.2. Procesamiento

La fruta se corta a la mitad, se deshuesa y empaca con jarabe en barriles. La congelación se realiza por métodos estándar y el almacenamiento debe hacerse a una temperatura inferior a -18°C.¹⁰⁴

La congelación criomecánica recomendada es por inmersión en N₂ antes de entrar al congelador mecánico por lecho fluidizado ¹⁰⁴

6.14.3. Condiciones especiales

Elievant estudió los componentes del sabor de ciruela fresca y congelada-descongelada por medio de GC-MS antes y después de la congelación profunda, después de dos semanas de almacenamiento a -30°C se descongelaron a $4^{\circ}\text{C}/36\text{ h}$ y se observó después de congelar un rápido y profundo oscurecimiento, pero no se detectaron sensorialmente cambios asociados a una modificación del aroma, los ésteres predominantes son los hexil (40%, con 36% de hexilbutanoato), butil éster (32%, con 22% de n-butil-butanoato) y ésteres etílicos (16%).⁵⁶

Al comparar la pérdida de peso por goteo de ciruelas con hueso y deshuesadas, maduras y sin madurar congeladas a -20°C y almacenadas durante 6 meses, se observó que la cantidad de jugo perdido fue mayor en las frutas con hueso y sin madurar.⁵⁵

6.15. Chabacano (*Prunus armeniaca*)

6.15.1. Procesamiento

Se congelan para utilizarse en otros procesamientos; la mayoría se congelan pelados y en mitades, esto incrementa la tendencia a oscurecimiento por lo que requiere etapas que lo minimicen como inmersión en una solución de ácido ascórbico o escaldado por un tiempo corto para inactivar las enzimas.¹⁰⁴

Las mitades se empaquetan en azúcar o jarabe de azúcar en una proporción 3:1 ó 4:1.¹⁰⁴

Un congelador por aire forzado de bandas es adecuado antes de empacar en barriles o contenedores de 13.6 kg para minimizar la decoloración. El almacenamiento debe hacerse a una temperatura inferior a -18°C y para una buena retención del ácido ascórbico a -29°C .¹⁰⁴

6.15.2. Condiciones especiales

Al comparar la pérdida de peso por goteo de chabacanos con hueso y deshuesados, maduros y sin madurar congelados a -20°C y almacenados durante 6 meses, se observó que la cantidad de jugo perdido fue mayor en las frutas con hueso y sin madurar.⁵⁵

6.16. Frambuesa (*Rubus idaeus*)

6.16.1. Procesamiento

Las frambuesas para venta al menudeo se empaican con 50% de jarabe aproximadamente en una proporción 6.4 en contenedores de 300-470 mL.¹⁰⁴

El tamiz para un un puré sin semillas de frambuesa de 0.045 in y con semilla de 0.125 in, se pasteunza a 88°C/1.5-2 min y se enfría de 15-21°C ¹⁰⁴

6.16.2. Condiciones especiales

Bushway congeló frambuesas de 5 variedades por aire forzado a -30°C que se empaicaron en bolsas de polietileno y almacenaron a -20°C/9 meses; no mostraron diferencia de color por efecto de la congelación, aunque 3 variedades mostraron decremento en la intensidad de color en la fruta descongelada después de un período extenso de almacenamiento congelado, pero se observó un descenso significativo de la firmeza en todas las variedades. también se encontraron diferencias significativas en pH, sólidos solubles y acidez titulable entre las variedades, pero no fue significativo el efecto de la congelación en estos parámetros. En otro estudio se observó un decremento en sacarosa y su correspondiente incremento en glucosa y fructosa en frambuesa congelada.⁵⁶

Se detectaron 126 compuestos responsables del aroma de la fruta fresca por GC-MS y no se observaron diferencias significativas con la fruta congelada.⁵⁶

6.17. Arándano (*Vaccinium mymyllas*)

6.17.1. Procesamiento

Se puede congelar en grandes cajas de cartón y después reempaicar en pequeñas bolsas de polietileno para su venta posterior al menudeo.¹⁰⁴

En la producción comercial de jugo, los arándanos se someten a un ciclo de congelación-descongelación antes del prensado, esto altera la estructura celular y resulta en un incremento de jugo y extracción de pigmentos: ésto se demostró al congelar, almacenar a -18°C y descongelar (3°C/1 noche); al comparar con arándanos sin congelar almacenados a 3°C, se observaron mejores

características en las frutas congeladas como mayor rendimiento (de hasta el 50%), contenido de antocianinas en el jugo, mayor rapidez de liberación del jugo; también se observó migración de las antocianinas del exocarpio al mesocarpio y endocarpio, resultando en mayor extracción de antocianinas durante el prensado.⁵⁶

6.17.2. Almacenamiento

Malinowaska no detectó cambios en la estabilidad de la vitamina C durante la congelación rápida (12-15 cm/h) y almacenamiento congelado (-19 a -24°C/12 meses); después de 9 meses en frutas descongeladas en la oscuridad a temperatura ambiente disminuyó el contenido de vitamina C en un 5% y la descongelación en exposición a la luz llevó a pérdidas del 20.9%.⁵⁶

6.18. Mora azul (*Morus spp*)

6.18.1. Procesamiento

Junto con la grosella, se almacenan para ser usados en procesos ulteriores.¹²⁴

El proceso de IQF y los usos de esta fruta está creciendo en Estados Unidos. La industria de la panificación es el mayor usuario de mora azul congelada IQF.¹²⁴

Las moras azules se congelan en contenedores de 9 kg. con pasos previos para eliminar o minimizar el aire del paquete o se empaican en bolsas de plástico con un peso neto de 12.7 kg y se almacenan de -17 a -23°C.¹²⁴

La congelación criomecánica recomendada es por inmersión en N₂ antes de entrar al congelador mecánico por lecho fluidizado.¹²⁴

6.18.2. Condiciones especiales

Frutas de 11 variedades se refrigeraron pocas horas después de la cosecha, se empaicaron en bolsas de polietileno, congelaron a -13°C y se almacenaron de 2-3 meses; se descongelaron en refrigeración por una noche. El proceso de descongelación produce un oscurecimiento de la superficie, con tendencia de pasar del azul al rojo, además, por observación microscópica se

detectó pérdida de los pigmentos de las células epidérmicas y subepidérmicas de las moras descongeladas; la variedad Elliott pierde jugo y pigmentos directamente a través de la piel, proccocando una apariencia blanda y tener una barrera cerosa menos efectiva que la variedad Burlington. También se ha estudiado el cambio de color en puré congelado a -20°C por un período de 7 semanas, perdiendo brillo y desarrollándose colores amarillentos.⁵⁶

Lenartowicz utilizó un congelador de placas y un túnel experimental por aspersión de N_2 , y empacó frutas en bolsas de polietileno y las almacenó a -20°C 3 meses; no se observaron diferencias significativas en el contenido de antocianinas en la fruta fresca y congelada de 6 variedades estudiadas y no hubo efecto por el método de congelación empleado.⁵⁶

Marti y Aguilera evaluaron tres métodos de congelación (estática a $-23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, placas a -50°C y por inmersión en N_2), las velocidades relativas entre los tres métodos fueron 1:5:15 respectivamente; detectándose pérdida de peso por goteo y hubo diferencia en la textura por congelación rápida en comparación con la lenta, además de que los dos métodos rápidos no dañaron las paredes celulares.⁵⁵

6.19. Chirimoya (*Annona cherimola*)

6.19.1. Materia prima

Los frutos de chirimoya son muy sensibles al manejo y daños por frío, lo que hace que se almacenen pocos días después de su cosecha. Los derivados de chirimoya son muy sensibles al oscurecimiento enzimático aún en estado congelado.⁷⁵

6.19.2. Procesamiento

La adición de 2 g/kg de ácido ascórbico con 2 g/kg de ácido cítrico con o sin 1 g/kg de cloruro de sodio mantiene un control completo sobre el oscurecimiento del puré durante la congelación (congelador por aire forzado a -40°C), almacenamiento ($-18^{\circ}\text{C}/60$ días) y descongelación (temperatura ambiente/2h).⁷⁵

6.19.3. Condiciones especiales

Abufom y Olaeta estudiaron el efecto de la pasteurización (75°C/10 min) y una mezcla de aditivos: ácido ascórbico (0.15%), ácido cítrico (0.2%) y EDTA (0.02%) en pulpa congelada de chirimoya (-38°C) durante el almacenamiento (-18°C/120 días). La pasteurización afecta la calidad sensorial y la mezcla de aditivos provee buen control del oscurecimiento enzimático y la calidad sensorial, siendo mejor que el control sin pasteurización ni aditivos.⁵⁶

6.20. Cítricos (*Citrus spp*)

6.20.1. Procesamiento

La amargura de los cítricos se debe a la naringina (glicósido soluble en agua); el incremento en la amargura en segmentos de pulpa congelada depende del incremento en el contenido de naringina del jugo exudado: grandes cantidades de naringina se exudan del jugo de las membranas y tejido cuando las frutas congeladas se mastican.⁵⁵

Para congelar cítricos en gajos se ha observado que no es muy conveniente el empleo de N₂ y CO₂, ya que durante el pelado se remueven las ceras que mantienen unidas las membranas que recubren las células con jugo: al congelar rápidamente aumentan de volumen los sacos de jugo, no alcanzan a formarse los puentes que conectan un saco con otro y se rompe el tejido. Se han continuado las investigaciones para entender el comportamiento de la cubierta de cera en los sacos de jugo y mejorar los procedimientos de manejo y proceso, ahorrando considerables pérdidas.⁵⁴

6.20.2. Almacenamiento

Después de 24 meses de almacenamiento en bolsas de polietileno a -20°C se retuvo el 81% de ácido ascórbico en naranja española y el 94% en la naranja turca; después de descongelar a temperatura ambiente el ácido ascórbico fue más susceptible a la degradación, el contenido se redujo en un 40% en la variedad española y en un 75% en la variedad turca.⁵⁵

6.21. Tomate (*Lycopersicon esculentum*)

6.21.1. Procesamiento

La congelación de tomates enteros no forma parte del comercio de congelados ya que pierden su turgencia y por ende su textura y no es común usarlos como tomates frescos.¹⁰⁴

Los tomates enteros machacados se pueden congelar y almacenar durante 6-9 meses a -18°C para procesos ulteriores; mientras que otros productos como salsas, pastas y purés se congelan con la ventaja de tener estabilidad de color al compararlos con otros métodos.¹⁰⁴

La temperatura inicial de congelación de tomate es de -0.7°C hasta -2.8°C , su calor latente de fusión es de 243.9 J/g y su porcentaje de agua sin congelar es de 20.3% .⁹⁴

6.21.2. Condiciones especiales

Urbanyi y Hart estudiaron 3 variedades de tomates, parcialmente maduros y totalmente maduros. Se rebanaron empacaron en bolsas de polietileno, congelaron a -30°C y almacenaron a $-20^{\circ}\text{C}/1$ año, se descongelaron en baño de agua y se observó que los cambios de color dependen de la variedad y estado de madurez; el contenido total de carotenoides decreció con el tiempo de almacenamiento y su retención fue mayor en muestras con el mayor grado de madurez. Al incrementar la madurez se obtiene un color más oscuro y rojo, durante el almacenamiento el color se vuelve gradualmente más claro y menos rojizo, así como, disminuye el contenido de carotenoides con el tiempo de almacenamiento.⁵⁶

Gradziel estudió el efecto de tomates pelados (agua hirviendo/30 s) y sin pelar después de congelar a -10 y -40°C , almacenados por periodos de más de 330 días; no se reportó efecto del pelado en la calidad de los productos, la formación de olores desagradables fue mayor a -10°C , siendo el sabor y otras características de calidad mayores en la fruta congelada a -40°C , sin embargo, no se encontró una correlación consistente con los análisis objetivos (ácido ascórbico, sólidos solubles, pH, acidez titulable y humedad); la firmeza se pierde en un 80% a los 5 días de almacenamiento.⁵⁶

No se observaron cambios en sólidos solubles, contenido de materia seca, conductividad eléctrica, acidez titulable, potasio, pH y N total en tomates enteros congelados.⁵⁶

6.21.3. Almacenamiento

Gradziel analizó el efecto de las condiciones de almacenamiento y envase en tomates congelados a -40°C , obteniendo mayores niveles de ácido ascórbico reducido en las frutas almacenadas a -40°C que con frutas almacenadas a -10°C /330 días de almacenamiento; el espesor del contenedor plástico (0.8 2.7 y 20 mm) no influye significativamente en el contenido de ácido ascórbico.⁵⁶

Se congelaron tomates enteros y en puré en bolsas de polietileno triple (espesor de $3 \times 62.5 \mu\text{m}$) a una temperatura de -20 a -25°C , se descongelaron colocándolas bolsas en agua caliente (80°C); la fruta entera se hizo puré durante 2-3 min y se analizó el contenido de ácido ascórbico, que decreció significativamente durante un periodo de almacenamiento de 11 semanas; la retención fue significativamente mayor cuando se congeló la fruta entera.⁵⁶

Se ha realizado un extenso trabajo para determinar la persistencia de la provitamina A después de la congelación y durante el almacenamiento congelado; el contenido de β -caroteno decrece durante el almacenamiento de tomate.⁵⁶

6.22. Melón (*Cucumis melo*)

6.22.1. Procesamiento

Se congela cuando la textura es lo suficientemente firme para permitir el corte en cubos o bolas que mantengan su integridad; si está muy maduro se obtiene un producto muy blando pues pierde considerablemente su textura cuando se ha descongelado completamente. Generalmente se congela en jarabe y en cubos IQF.¹⁰⁴

La congelación criomecánica recomendada es por inmersión en N_2 antes de entrar al congelador mecánico por lecho fluidizado.¹⁰⁴

6.22.2. Almacenamiento

Durante 9 meses de almacenamiento, melón Cantaloupe empacado en jarabe perdió más del 44% de vitamina C y sin jarabe más del 85%.⁵⁷

6.23. Guayaba (*Psidium guajaya*)

Se consume como puré y para industrias procesadoras de jugos mixtos.

6.23.1. Condiciones especiales

Yen examinó los cambios en compuestos volátiles (GC-MS) responsables del sabor de puré de guayaba durante su procesamiento (85-88°C/24 s) y almacenamiento congelado (0, -10 y -20°C/4 meses); los resultados se compararon con los de fruta fresca y puré sin pasteurizar. La pasteurización tiende a deteriorar el producto durante el almacenamiento congelado, resultando en el desarrollo de olores indeseables y un decremento la calidad sensorial; en la fruta sin pasteurizar, se detectaron 27 compuestos, incluyendo 2 ácidos, 5 alcoholes, 6 aldehidos, 7 ésteres y 7 hidrocarburos. Tras la pasteurización hay un descenso en los ésteres y un incremento en aldehidos, terpenos y ácidos, pero no se aprecia cambio en los alcoholes; durante el almacenamiento los ésteres, alcoholes y ácidos permanecieron sin cambio, mientras que los alcoholes y terpenos decrecieron ligeramente durante el almacenamiento a -10 y -20°C.⁵⁶

6.24. Chile⁵⁷ (*Capsicum annum*)

6.24.1. Materia prima

El consumo de chile jalapeño se ha incrementado en las compañías alimentarias como ingrediente en una gran variedad de productos, pero presenta un gran problema al procesarlo: se ablanda tras exponerlo a temperaturas de pasteurización y a salmueras con $\text{pH} \leq 5$.

6.24.2. Condiciones especiales

Quintero-Ramos estudió los efectos de escaldado a bajas temperaturas largo tiempo en mitades de chile jalapeño congelado (aire forzado a -42°C/30-45 min, empacado en bolsas de plástico y almacenado a -18°C) sobre la textura, color y pH (descongelándolo por inmersión en agua a 20°C por varios minutos). La temperatura es el factor más importante, recomendándose 55°C por no

dañar la firmeza ni el color una vez descongelado, siendo el tiempo irrelevante para la calidad del producto.

6.25. Zapote⁸⁶ (*Diospyros ebenaster*; *blanco: Casimiroa edullis*)

El zapote se cortó en ocho segmentos y se desemilló, se empacó con un jarabe de azúcar con 0.2% de ácido cítrico, se congeló por aire forzado a -30°C hasta que el centro geométrico de los frutos alcanzó -10°C y se almacenó a $-18^{\circ}\text{C}/3$ meses. El mejor tratamiento fue el que no incluyó jarabe, debido probablemente a que naturalmente el zapote tiene una alta concentración de azúcares (22°Brix), se obtuvieron productos aceptables con los tratamientos de jarabe de azúcar de 20°Brix y 30°Brix.

6.26. Pésimo¹⁰⁸ (*Diospyros kald*)

La astringencia (concentración de taninos solubles) disminuye un poco al iniciarse la descongelación, sin importar la velocidad de congelación. Al congelar lentamente ($-20^{\circ}\text{C}/1\text{h}$), los taninos disminuyen grandemente durante la descongelación y una vez descongelado (temperatura ambiente) el fruto perdió su astringencia, mientras que por congelación rápida (inmersión en $\text{N}_2/1$ min antes de introducir en el mismo congelador) el pésimo siguió astringente una vez descongelado; los taninos solubles salen de la célula por daño en el tejido se vuelven insolubles al contacto con los fragmentos de pared celular y membranas plasmáticas. la astringencia puede removerse por insolubilización de los taninos solubles, responsables de la nota astringente, así que la disminución de la astringencia en pésimo congelado y descongelado probablemente no se relaciona con cambios en las sustancias pécticas que ocurren durante y después de la descongelación sin importar el método empleado.

6.27. Fruta de la pasión¹⁰⁴ (*Passiflora edulla*)

El sabor de esta fruta es muy lábil, por lo que cualquier proceso térmico causa pérdidas inevitables del aroma, entonces, la congelación es la mejor forma de conservarla manteniendo su calidad. Se utiliza un congelador de superficie raspada para obtener una nieve y se empaqueta en contenedores de 250 L para su venta a granel con almacenamiento en frío, o empacado y congelado directamente en pequeños contenedores de 22.7 L en un congelador por aire forzado antes de almacenarlo en un

cuarto frío como semiproducto.

Para mantener la calidad se debe almacenar a -18°C como máximo.

6.28. Pacana¹⁰

Las pacanas, como otras nueces oleaginosas, deterioran su calidad si se almacenan a una temperatura mayor a 23°C , perdiendo sabor hasta volverse inaceptables en 6-8 meses; si se almacenan a -15°C retienen su sabor por 2 años o más. No se han reportado cambios en textura por lo que la industria asume que el almacenamiento congelado de pacanas mantiene su textura tan bien como su sabor.

La velocidad de congelación afecta la dureza de las pacana; el aumento en el crecimiento de cristales en los tejidos promovido por la congelación lenta causa dureza. La velocidad de descongelación influye en la cohesividad, pacanas congeladas a -20°C , descongeladas lentamente retuvieron valores de cohesividad similares al control pero al descongelar rápidamente hubo pérdida.

6.29. Coco¹⁰⁴ (*Cocos nucifera*)

Las tiras de coco se congelan sin una preparación en particular, a pesar de que las lipasas siguen activas: la velocidad de congelación no es crítica, simplemente el enfriamiento debe ser lo suficientemente rápido para minimizar la contaminación microbiana. El almacenamiento en grandes contenedores es a -18°C .

6.30. Higo (*Ficus carica*)

Puede congelarse la fruta entera en jarabe o en rebanadas. Se emplean métodos estándar de congelación. La temperatura de almacenamiento debe ser menor a -18°C .¹⁰⁴

En higos congelados y almacenados 7 meses se observó que el β -caroteno disminuye conforme aumenta el tiempo de almacenamiento.¹¹¹

6.31. Fruto del árbol del pan⁵⁶ (*Artocarpus altilia*)

Passam propuso un método de congelación y cocción parcial de segmentos; se pelaron, rebanaron y precocieron de 0-10 min, enfriaron y empacaron y congelaron a -15°C, después de almacenar 10 semanas, se cocieron en agua hirviendo hasta alcanzar una firmeza apropiada; la fruta sin pretratamiento se decoloró y no tuvo sabor homogéneo, el pretratamiento de 1 min produjo una textura inconsistente, de 2-5 min se obtuvieron resultados similares al control (cocido sin congelar), mientras que a tiempos mayores de 5 minutos se obtuvieron productos menos aceptables tras el almacenamiento.

6.32. Dátil (*Placenix dactylifera*)

Los dátiles frescos suelen congelarse; se recomiendan envases a prueba de agua y vapor para prevenir la pérdida de humedad durante la congelación y almacenamiento.¹⁰⁴

6.33. Tuna (*Opuntia ficus-indica*)

Se ofrece como puré congelado sin semilla, se recomienda usarlo en cocteles, postres, salsas y salsa BBQ.⁵

7. Aspectos sanitarios y legislación

7.1. Envasado

7.1.1. Aspectos generales

El término envase solía utilizarse para productos líquidos y empaque para productos sólidos, sin embargo, en la actualidad se usan indistintamente y se procura no emplear el término envase con el fin de homologar la terminología que se emplea en países de habla hispana. El embalaje es el contenedor usado para proteger la mercancía durante todas las etapas de la distribución.²⁵

El envase primario está en contacto directo con el producto, por lo que debe existir compatibilidad física y química entre continente y contenido, además, no debe interaccionar químicamente y estar aprobado por autoridades sanitarias. El envase secundario es un contenedor unitario o colectivo; en el caso de caja plegadiza su función es también mercadológica, ya que informa y promueve. El envase terciario es por lo general colectivo, pues unifica, controla, protege y promueve a varios envases primarios y secundarios.²⁵

Para seleccionar el material de envase adecuado, los factores a considerar son:^{25, 62, 104}

1. Propiedades de barrera a los gases.
2. Propiedades de barrera a la humedad.
3. Protección a factores ambientales.
4. Propiedades mecánicas.
5. Reactividad con el alimento.
6. Propiedades relacionadas con la mercadotecnia.
7. Sellado.
8. Costo beneficio.
9. Facilidad de manejo y almacenamiento.
10. Estabilidad a la temperatura.
11. Resistencia al agua.

Las características requeridas para el envase de productos congelados son: no contener sustancias tóxicas que puedan migrar al alimento, ser químicamente inerte y estable a la temperatura (debe soportar -40°C y además tolerar temperaturas elevadas porque puede descongelarse los productos dentro de su envase), no comunicar sabores ni olores desagradables, bajo grado de permeabilidad al vapor de agua y oxígeno, resistencia al agua, ácidos débiles y grasas, proteger contra la contaminación bacteriana y suciedad, permitir la congelación rápida del contenido de los paquetes cuando así se requiera, que se separe fácilmente del producto al desempacarlo, conservación de sus propiedades básicas como solidez, elasticidad durante el almacenamiento y transporte, ser utilizable por máquinas automáticas de envasado, facilidad de impresión, ofrecer dimensiones y formas convenientes para la presentación en los expositores de venta, facilidad de apertura y cierre, permitir una buena penetración de las microondas para los casos que la descongelación se lleve a cabo en dicho horno, también es necesario contemplar el impacto ambiental que pueda tener el uso del envase.⁵⁴

El envase al vacío es un buen método para retener las propiedades sensoriales.⁶²

7.1.2. Materiales de envase

Los materiales tratados corresponden a envases primarios.

7.1.2.1. Papel kraft

Es un papel fuerte, rígido, opaco y puede imprimirse sobre él. Se emplea en combinación de otros materiales.³⁴

7.1.2.2. Cartón

Se utiliza como envase primario cuando está en combinación con otros materiales para dar mayor barrera y sellado térmico. Usualmente se combina con cera, plástico, hojas laminadas o la combinación de hoja de aluminio y cubierta plástica (polietileno, cloruro de polivinilo); estas cubiertas se usan para prevenir quemaduras por congelación.^{54, 104}

El grosor del cartón protege al alimento del daño mecánico, es suave, tiene características de superficie, capacidad de impresión, blancura y no sufre resquebrajamiento.¹⁰⁴

7.1.2.3. Plásticos

Al no ser rígidos, sus funciones primarias son contener al producto y protegerlo del contacto del aire y vapor de agua; su capacidad para proteger del daño mecánico es limitado, principalmente cuando se trata de películas delgadas.³⁴

Varios plásticos contienen pequeñas cantidades de aditivos como antioxidantes, lubricantes, agentes antiestáticos, estabilizantes de calor y UV, que se agregan para facilitar su procesamiento o para impartir propiedades plásticas deseables.^{34, 104}

Las ventajas de los plásticos como materiales de envase son:¹⁰⁴

1. Costo relativamente bajo.
2. Buenas propiedades de barrera para la humedad y gases. (tablas 7.1 y 7.2)
3. Pueden sellarse térmicamente.
4. Aptos para llenado a altas velocidades.
5. Capacidad de impresión.
6. Aportan muy poco peso al producto.
7. Se ajustan a la forma del producto, ocupando poco espacio durante el almacenamiento y distribución.

Material	Velocidad de transmisión de vapor de agua (g/mil/m ² /día) ¹
Materiales de alta barrera	
Aluminio	0
HDPE	3.8
PVDC	4.0
PP	6-10
LDPE	18-23
PET orientado	19
Materiales de barrera moderada	
PET no orientado	46
Materiales de baja barrera	
PS	78-132
Nylon no orientado	340

¹ Medidos @ 37.8°C y 100% HR

1 mil = 25 µm = 0.001 in

Tabla 7.1. Velocidad de transmisión de vapor de agua de algunos materiales de envase

(Somogyi, 1996)

Material	Velocidad de transmisión de O ₂ (cc/m ² /día) ¹
Materiales de alta barrera	
Aluminio	0.1
PVDC	2.5
Materiales de barrera moderada	
Nylon orientado	28
PET orientado	36
Nylon no orientado	78
PET no orientado	109
Materiales de baja barrera	
PS	1500
HDPE	1705
PP	2320
LDPE	7500

¹Medidos @ 23°C y 0% HR

Tabla 7.2. Velocidad de transmisión de oxígeno de algunos materiales de envase.

(Somogyi, 1996)

7.1.2.3.1. Polietileno (PE)

Es el plástico más barato, el de mayor consumo en el mundo y es el más usado en aplicaciones alimenticias, presenta la fórmula química más simple, es el plástico más usado para bolsas flexibles, tiene muy buena capacidad de sellado, es óptimo para laminaciones, una desventaja es que no es barrera al oxígeno por la presencia de microporos en las paredes del envase, pero tiene una alta propiedad de barrera al vapor de agua.²⁵ Las hojas de PE son flexibles y si se requiere una buena protección para prevenir pérdida de aroma y gases, es necesario combinarlo con otros materiales.³⁴

Tiene buena resistencia química, es durable y soporta bajas temperaturas (temperaturas inferiores a -50°C) y tiene bajo punto de fusión.^{12, 34, 104}

Forma parte de los polímeros no encogibles, que tienden a formar escarcha bajo la hoja debido a la sublimación de hielo a partir de la superficie del producto congelado,⁵⁴ sin embargo, otras referencias mencionan que no se forman cristales de hielo.¹⁰⁴

Se producen tres tipos principales: polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno de baja densidad lineal (LLDPE).¹⁰⁴

Las características principales del LDPE son que es termosellable a bajas temperaturas (80°C), químicamente inerte, inodoro y se encoge cuando se calienta. Es una buena barrera para la humedad pero pobre para gases, tiene menor precio pero también menor resistencia a altas temperaturas (hasta 88°C), aunque tolera bajas temperaturas es bastante permeable al oxígeno, incluso a microorganismos.^{54, 104}

El HDPE es menos ramificado y más cristalino en estructura que el LDPE, siendo entonces, más fuerte, grueso, menos flexible, menos transparente, más quebradizo y tiene menor permeabilidad a gases y humedad, posee también una temperatura alta de ablandamiento (121°C), por lo que puede ser estenilizable y puede resistir la temperatura de ebullición del agua.^{54, 104}

El LLDPE tiene el arreglo más lineal de moléculas y combina la claridad del LDPE y la fuerza del HDPE.¹⁰⁴

7.1.2.3.2. Poliéster (Polietileno tereftalato, PET)

Es un polímero durable, de estabilidad dimensional, de permeabilidad moderada a los gases, vapor de agua, olores y grasas; es rígido, inerte, con excelentes propiedades mecánicas, pobre capacidad de sellado térmico; sus características principales son su alto punto de fusión y resistencia al impacto y tensión.^{34, 104}

Tiene transparencia similar a la del vidrio, alta resistencia química, a la presión interna, es de bajo peso y está aceptado por la FDA. No contiene estabilizadores ni conservadores, no altera el sabor ni el olor del producto, aportándole larga vida de anaquel; puede fabricarse para tener variedad de colores, tales como ámbar y verde y se considera no contaminante porque puede ser molido para su reproceso o disposición por combustión.²⁵

El PET cristalino (CPET) se utiliza en charolas para horno de microondas, debido a que no sufre deformación.¹¹² Se caracteriza por su resistencia ante oscilaciones térmicas y se utiliza como recubrimiento para los moldes que se llevan al horno.⁵⁴

7.1.2.3.3. Poliamida (nylon)¹⁰⁴

Es una película resistente, rígida, inerte, clara, con buenas propiedades mecánicas en un amplio rango de temperatura (-60 a 200°C); es buena barrera para gases y aromas pero tiene bajas propiedades de barrera para la humedad, pero su producción es costosa y requiere altas temperaturas para formar un sellado térmico.

Impide la oxidación y como es fácilmente moldeable se utiliza para la fabricación de laminados (por ejemplo bolsas que se sumerjan en agua hirviendo).

Comúnmente se utiliza como capa exterior de estructuras laminadas para dar más fuerza a la estructura; las propiedades mecánicas y de barrera se pueden aumentar orientándolo biaxialmente (BON).

7.1.2.3.4. Polipropileno (PP)

Es inerte, claro con bajo punto de fusión, con alta barrera a la humedad y pobre barrera a gases; es resistente al impacto, fricción y rayado.^{25, 104} Es de los polímeros encogibles y sus copolímeros soportan hasta -20 °C.^{12, 54}

Comparado con el LDPE y HDPE es más rígido, resistente y más transparente; tiene mayores propiedades de barrera a gases y humedad, es apropiado para hervir en su envase; se extiende menos que el PE y resulta apropiado para equipos de llenado a alta velocidad, pero es más quebradizo a bajas temperaturas, remplazándolo por ser más impermeable y fácilmente imprimible, pero soporta temperaturas más altas (reblandece a 150°C y funde a 160°C) y no reacciona con los lípidos. Un inconveniente es su escasa resistencia a la luz y al oxígeno.^{54, 104}

7.1.2.3.5. Poliestireno (PS)

Es un polímero rígido, fuerte, claro, brillante, con bajo punto de fusión, pobre resistencia al impacto, quebradizo y pobre barrera a la humedad y gases. Es estable hasta una temperatura de -40°C. Para bandejas que puedan introducirse al horno de microondas se puede emplear PS/cartón.^{12, 104}

El poliestireno expandido (EPS) es rígido, de baja densidad por lo que se usa en charolas y contenedores; es pobre barrera al oxígeno y vapor de agua. Las charolas se usan comúnmente con

películas de PE o PP que le brindan las propiedades de barrera a la humedad que necesita.¹⁰⁴

7.1.2.3.6. Cloruro de polivítileno (PVDC, saran)

Es un plástico inerte, claro, de alto punto de fusión, sellado térmico a alta temperatura, excelente barrera a la humedad y a los gases.^{34, 104}

Tiene excelente resistencia química, a la ignición y a la flama; en forma de látex se utiliza con éxito como recubrimiento para incrementar la condición de barrera sobre los envases de PET y PVC.²⁵

Se usa solo o en combinación de otras películas cuando se requieren características de barrera alta.¹⁰⁴

7.1.2.3.7. Acetato de vinil etileno (EVA)¹⁰⁴

Es un polímero resistente (especialmente a bajas temperaturas), claro, inerte, altamente extensible, con bajo punto de fusión, con propiedades moderadas de barrera a la humedad y gases y se puede sellar a bajas temperaturas.

7.1.2.4. Aluminio

Es a prueba de grasas, muy reflectivo, de apariencia brillante y estabilidad dimensional, es completamente impermeable a los gases y al vapor de agua, resistente a la corrosión y forma una barrera a las microondas.^{34 54}

7.1.2.5. Películas laminadas o multicapas¹⁰⁴

Las películas individuales con frecuencia se cubren con otros polímeros o aluminio para mejorar las propiedades de barrera o para impartir sellado térmico; los materiales que pueden ser laminados unos a otros incluyen: plástico-plástico, papel-plástico, papel-aluminio y papel-aluminio/plástico.

7.1.3. Envase de fruta congelada

Las frutas congeladas requieren de un envase adecuado para mantener al máximo la calidad en su ambiente a temperaturas bajo cero. La quemadura por congelación es el mayor daño en productos congelados almacenados; el ambiente promueve la pérdida de humedad (por sublimación), resultando en la desecación del producto. Los materiales y tecnologías de envase deben usarse para minimizar los cambios deteriorativos del producto durante el almacenamiento.¹⁰⁴

Las reacciones químicas en frutas, a pesar de ser lentas, son significativas con el paso del tiempo. Las reacciones químicas importantes en frutas congeladas incluyen la oxidación de la vitamina C, el β -caroteno y otros pigmentos como antocianinas, clorofilas y flavonoides, resultando en pérdida de sabor, color y valor nutrimental del producto. A pesar de que las enzimas responsables de estas reacciones se pueden inactivar por escaldado, la descomposición química puede darse en ausencia de enzimas si hay luz y oxígeno presente.¹⁰⁴

Las frutas expuestas al oxígeno son susceptibles a la degradación oxidativa, resultando en oscurecimiento y reducción de la vida de anaquel del producto: para extender la vida de anaquel, el envase de frutas congeladas debe excluir el aire del tejido, ya sea el remplazo del oxígeno con una solución azucarada o gas inerte, consumiendo el oxígeno por glucosa-oxidasa y/o el uso de vacío y películas impermeables al oxígeno para prevenir o retardar el oscurecimiento y otros cambios oxidativos.⁵⁶

Los requerimientos específicos a considerar para fruta congelada son:^{84 85 104}

1. El material de envase debe ser impermeable a la humedad y, si es posible, al oxígeno y a la luz (si llevan azúcar basta con cierta impermeabilidad).
2. Los materiales flexibles deben usarse para ajustarse al contorno del producto congelado para minimizar el espacio de aire libre.
3. El material de envase debe tener resistencia mecánica y no debe volverse quebradizo o deteriorarse durante un período prolongado de almacenamiento.
4. Debe resistir a la punción. a prueba de agua, pues a veces se recurre a baños de agua fría para descongelar, y no tener fugas (incluso en los cierres).
5. No contribuir con cambios de olor y sabor en el producto.
6. Estético y de bajo costo con facilidad de sellado
7. Resistente a los ácidos débiles y al calor húmedo para poder ser descongelada en agua caliente.
8. En ambas caras debe tener escasa transmisión de calor.

Se emplea cartón parafinado o PE. Los mejores materiales para congelados incluyen los cartones con hojas metálicas y algunas películas termoplásticas.^{59, 79}

En el mercado actual existen tres tipos de envases para el almacenamiento prolongado de frutas congeladas: bolsas de plástico, cartón laminado y latas compuestas.¹⁰⁴

7.1.3.1. Bolsas de plástico¹⁰⁴

Existen de varios tamaños. La película más utilizada es el LDPE que es hidrofóbico y parcialmente cristalino; *la naturaleza hidrofóbica le da una alta barrera al agua, lo que previene la quemadura por congelación, además previene la absorción de agua y formación de cristales en la superficie del envase: es a prueba de agua y resistente a la pérdida de agua durante la descongelación, resistente a los ácidos, haciéndolo ideal en el envase de productos de fruta ácidos. La naturaleza amorfa lo hace flexible a bajas temperaturas, ajustándose al producto y eliminando la mayor parte de aire en el envase que podría promover la desecación dentro del envase. Su flexibilidad no lo hace quebradizo ni se rompe durante el almacenamiento; por su baja densidad tiene gran claridad y sella excelentemente a bajas temperaturas. Además no contribuye con olores o sabores desagradables, no es tóxico y es de los polímeros menos costosos.*

Las desventajas del LDPE es su alta transmisión de luz y permeabilidad al oxígeno, que pueden catalizar las reacciones oxidativas, sin embargo, la baja barrera a los gases no es un problema ya que a las temperaturas de almacenamiento se reduce la permeabilidad. *Las propiedades de barrera a la luz se pueden mejorar a través de imágenes o incorporando absorbentes de UV en la películas. Por su flexibilidad no brinda buena protección al impacto mecánico y los paquetes tienden a moverse haciendo difícil su acomodo.*

Otros sistemas de envase disponibles para frutas congeladas incluyen:

1. Bolsas de PET en caja de cartón.
2. Coextrusiones de nylon/PET/HDPE.
3. Coextrusiones de HDPE/EVA.

4. Coextrusiones de EVA/LLDPE

Otra opción para los consumidores son las "caliente en la bolsa", estos se pueden remover de la caja de cartón y simplemente se introducen en un recipiente con agua hirviendo; como estas bolsas deben ser capaces de resistir altas temperaturas, las bolsas de PET y los laminados de nylon/PET/HDPE resultan una buena opción.

También pueden distribirse en envases gruesos para grandes distribuidores o restaurantes, para lo que se requieren materiales con alta fuerza de tensión, los sistemas principales para estos productos son la coextrusiones de EVA y HDPE o LLDPE, que proveen fuerza adicional así como una excelente barrera al vapor de agua. El EVA provee excelentes características de sellado a bajas temperaturas.

Para frutas IQF se utiliza PE ya que permite un fotograbado de alta calidad.¹²

El desarrollo de materiales de envase con baja permeabilidad al oxígeno es de gran beneficio, las cubiertas laminadas minimizan el deterioro de la calidad de las frutas, siendo más importantes cuando las condiciones de almacenamiento no son óptimas. Para almacenamiento a -18°C durante 12 meses, las bolsas de LDPE resultan suficientes para los requisitos comerciales.⁵⁶

7.1.3.2. Cartones laminados¹⁰⁴

El cartón es económico y versátil, pero es muy higroscópico y fácilmente absorbe humedad, por lo que debe ser laminado, ejemplos de cartones laminados son:

1. Caja de cartón encerado.
2. Caja de cartón con PE
3. Charolas para microondas de cartón/poliéster/aluminio dentro de una caja de cartón con PE.

Todos estos sistemas ofrecen protección al producto al menos durante seis meses de almacenamiento a -20°C.

El cartón encerado/corrugado fue el envase más utilizado por varios años, por ofrecer buena protección a la pérdida de humedad y volátiles, así como para problemas oxidativos, sin embargo, la cera se dañaba durante el almacenamiento. Por lo que perdía ligeramente sus propiedades de barrera, se sustituyó por cartón cubierto por ambos lados con PE que ofrece mejores características de barrera a la humedad. La capa exterior de LDPE también protege al paquete de la suciedad y rayado.

El cartón laminado tiene las mismas ventajas que la bolsa de LDPE (a excepción de la flexibilidad y transparencia), además de proporcionar protección a la luz, es posible apilarlo con facilidad e imprimirse con alta calidad, dando una mejor apariencia.

Con el incremento en la adquisición de microondas, se demandan materiales de envase que puedan utilizarse en estos equipos. La charola comprimida de cartón/poliéster/aluminio se llena con el producto y se coloca dentro de la charola exterior de PE/cartón, el consumidor simplemente abre el paquete, toma el contenedor interior y lo introduce en el microondas.

7.1.3.3. Latas compuestas¹²⁴

Es un material de envase común para purés, jugo concentrado y piezas de fruta en jarabe ligero. Tiene varias características dependiendo de los materiales de poco peso que se utilicen, como plástico y algunas veces lámina de aluminio. La lata terminada está hecha de metal laqueado (resistente a los ácidos) o plástico. Usualmente se construyen de: (1) capa de LDPE que actúa como una barrera a la humedad y a los ácidos; (2) lámina de aluminio, que actúa como una barrera a la luz y gases para prevenir la oxidación de pigmentos y vitaminas; y (3) papel kraft, que es una buena barrera a la luz y le da a la lata rigidez estructural y fuerza, además, un papel impreso con ilustraciones atractivas (etiqueta) y se protege con una cubierta de LDPE, esta cubierta de LDPE también protege al papel kraft del ablandamiento por la formación de hielo en la superficie durante el manejo y almacenamiento; cuando se requieren mayores características de rigidez y barrera se incorpora PP a la estructura.

Los productos por lo regular se empaquetan en cartones para su venta al menudeo y para procesos posteriores en grandes contenedores o tambores de 50 gal y latas de 30 lb para ser reprocesados.¹⁰⁴

En la mayoría de los estudios realizados con fruta congelada se hace poca referencia al material de envase, se menciona que se envasan con o sin previa evacuación del aire, en bolsas de plástico, tarros de plástico, bolsas de papel, latas y más específicamente en bolsas de polietileno.⁵⁶

Los envases que se están desarrollando para productos congelados, ofrecerán características innovadoras como: alertar a los consumidores si el producto no es lo suficientemente seguro (por medio de biosensores que monitorean la frescura) e incluso podrían proporcionar de forma sonora información del producto; los cartones tendrán imágenes holográficas y los envases pueden equiparse con chips para controlar el robo en las tiendas; esto con la finalidad de dar mayor valor agregado al producto.⁶

7.2. Microbiología

En la superficie de las frutas se encuentra la flora microbiana natural proveniente del suelo y agua, además, en zonas descompuestas hay hongos y levaduras. Como la mayoría de las frutas y hortalizas son ácidas, secas superficialmente y pobres en vitamina B, los mohos son su principal causa de alteración.⁸⁸ Los microorganismos predominantes en frutas son usualmente hongos y levaduras aunque también las bacterias ácido-lácticas pueden presentarse en productos como jugo de naranja concentrado.¹⁰⁴

Al menos 215 especies de hongos y levaduras son importantes en alimentos, y se estima que 32 géneros están asociados a frutas y sus productos. Las especies de levaduras osmotolerantes incluyen *Zygosaccharomyces rouxii*, *Torulaspora delbrueckii* y *Debaromyces hansenii*. Son pocas las especies de levaduras potógenas para el hombre y ninguna de estas especies es un contaminante común en frutas y sus derivados.¹⁰⁴

Las frutas, como se reciben en la planta, están comúnmente contaminadas con un gran número de levaduras: las manzanas tienen una población variable de 10^3 a 10^4 levaduras/g de fruta. Las frutas

que han sido dañadas por aves, insectos u hongos patógenos contienen regularmente altas poblaciones de levaduras: otras fuentes de contaminación incluyen las superficies de los cosechadores mecánicos y cajas de madera que se usan en el transporte de la fruta a la planta procesadora.¹⁰⁴

La mayoría de las levaduras se remueven en las etapas previas al procesamiento como lavado y pelado; la recontaminación subsecuente ocurre en puntos donde la fruta puede recolectarse como bandas y equipo.¹⁰⁴

Los productos metabólicos de las levaduras son CO₂, etanol, glicerol, acetaldehído, ácido pirúvico y ácido α -catoglutarico; además contienen enzimas hidrolíticas que degradan pectinas, almidón y algunas proteínas, su actividad enzimática es mucho menor que la de otros microorganismos acidúricos como los hongos.¹⁰⁴

Los hongos que producen micotoxinas en frutas son *Aspergillus flavus* (aflatoxinas) que se asocia a higos, *Eurotium* (physicon) a conservas y *Fusarium moniliforme* (Emodin y tricotecenos) a plátanos. La matena prima contaminada con hongos ablanda el producto ya que las pectinasas no se inactivan.¹⁰⁴

Las bacterias ácido lácticas son gram positivo, catalasa negativa y crecen bien bajo condiciones anaeróbicas; las homofermentativas producen principalmente ácido láctico a partir de hexosas y las heterofermentativas producen una molécula de ácido láctico, una de CO₂ y un compuesto de dos carbonos (ácido acético, etanol, o ambos). Los estreptococos (especies *Lactococcus* y *Enterococcus*) raramente se encuentran asociados a la descomposición de productos frutícolas.¹⁰⁴

Muchos de los tejidos de la frutas son blandos y susceptibles a la invasión de hongos, levaduras y bacterias, sin embargo, el envenenamiento del producto por microorganismos no es un problema importante en fruta congelada.⁵⁶

Cuando está congelada entre el 80 y 90% de agua, se impide el crecimiento de microorganismos.

Algunas bacterias son dañadas y otras destruidas a -18°C por la congelación del agua libre, los cristales de hielo dañan la delicada estructura celular y varía la viscosidad del citoplasma, de la célula se desprenden gases citoplasmáticos como O_2 y CO_2 , el pH varía y existe una concentración de electrolitos tóxicos en las células; se produce la desnaturalización y floculación de las proteínas y finalmente sufren un choque por frío; el metabolismo se altera e incluso se detiene.^{56, 61}

El efecto letal sobre las bacterias es mayor en el intervalo de -4 a -10°C que en el intervalo de -15 a -30°C cuando la congelación es lenta. se pierde el efecto de choque frío y las bacterias tienen más tiempo para adaptarse a las nuevas condiciones; sin embargo, al favorecer la formación de cristales grandes de hielo, mata un mayor número de microorganismos. La congelación a -20°C es menos perjudicial para hongos y levaduras que congelando a -10°C ; además las células de levaduras se afectan menos cuando se congelan a -80°C que a -20°C .^{56, 61}

Varios de los microorganismos contaminantes, especialmente células vegetativas, mueren por el proceso de congelación, pero un porcentaje significativo sobrevive y, entonces, los productos pueden llegar a tener una carga microbiana realmente elevada, de ahí la importancia de la calidad de la materia prima, así como del cuidado e higiene durante su elaboración, transporte y almacenamiento.^{54, 55, 104}

Los microorganismos patógenos no pueden seguir multiplicándose por debajo de 2°C , aunque las bacterias, toxinas y esporas no se destruyen por las bajas temperaturas. Si antes de la congelación hubo condiciones favorables para su desarrollo hay peligro de intoxicación, así como al descongelar el producto, pueden desarrollarse los microorganismos presentes. Por lo que debe tenerse mucho cuidado durante la cosecha y manejo de la fruta fresca para prevenir la contaminación y crecimiento de los microorganismos.^{54, 56}

La descongelación influye en la supervivencia de los microorganismos; durante la descongelación lenta, puede ocurrir recristalización que daña a los microorganismos; las condiciones para dañar a las células de los microorganismos también producen el mayor daño al tejido, siendo la textura de la fruta descongelada la más afectada.⁵⁶

Frecuentemente la cuenta microbiana de los productos congelados refleja las condiciones sanitarias de los equipos de procesamiento, ya que conforme se transporta la fruta por las diferentes operaciones unitarias, existe la oportunidad de que cada pieza esté en contacto con un área contaminada y entonces recoger microorganismos.¹⁰⁴

La calidad de la materia prima y las condiciones sanitarias son críticas; las materias primas deben manejarse y prepararse lo más rápido posible bajo las mejores condiciones sanitarias, para de esta forma minimizar el número de bacterias presentes al momento de congelar. Una manipulación adecuada disminuye el riesgo de crecimiento microbiano.^{88, 104}

Los microorganismos que pueden sobrevivir a la congelación son:^{54, 88}

- Levaduras como *Saccharomyces*, *Candida*, *Debaryomyces*, *Torula* y *Cryptococcus*.
- Hongos como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus* (podredumbre grn en fresa y zarzamora), *Sotylytis*, *Fusarium* y *Alternaria* (podredumbre verde en duraznos).
- Bacterias del suelo como *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Achromobacter*.

Algunas levaduras siguen multiplicándose por espacio de varios meses sobre frutas desde -2.5 a -10°C y dejan de multiplicarse a -12 ó -15°C, pero algunas se desarrollan todavía a -18°C, especialmente las productoras de pigmento rosa.⁵⁴

La mayoría de los hongos deja de multiplicarse a -12°C, sin embargo, se ha encontrado que hasta -18°C se observa el cese total de su multiplicación.⁵⁴

Es muy limitada la información reportada sobre el efecto de la congelación, almacenamiento y descongelación sobre los microorganismos.⁵⁸

Se ha reportado una reducción en la cuenta microbiana de rebanadas de mango en jarabe de 10⁵-10⁶ a 10²-10⁴ microorganismos/g después de 15 días de almacenamiento a -20°C.

Se observó una reducción dramática en la población de hongos y levaduras en puré de frutas almacenado (-18°C/6 meses).

En pulpa de kiwi se determinó la cuenta aeróbica en placa, hongos, levaduras, coliformes fecales y *Staphylococcus aureus*; el proceso de congelación disminuyó la viabilidad de los grupos evaluados, siendo mayor el efecto en pulpa deaerada, con envase laminado y congelada a -35°C que el método industrial comercial (polietileno, -18°C); no se detectaron coliformes fecales o coagulasa positiva de *Staphylococcus aureus*.

Existe objeción de considerar a los coliformes como indicadores de condiciones sanitarias ya que *Aerobacter aerogenes* forma parte de la flora natural de las frutas.⁸⁸

7.3. Control de calidad

7.3.1. Aspectos generales

El control de calidad se entiende como un sistema de procedimientos, directos o indirectos para producir en forma económica bienes y servicios que satisfagan los requerimientos de los consumidores; desde el punto de vista de calidad sanitaria presupone que los alimentos sean nutritivos y no tengan riesgo para la salud.^{27, 92}

La infraestructura del control de calidad de los alimentos, debe considerar las funciones básicas de administración, inspección, toma de muestras y análisis de laboratorio, en los puntos de aplicación que sean necesarios, para garantizar, y en su caso certificar, la calidad de los productos hortofrutícolas. Las características de calidad son aquellas propiedades como tamaño, color, sabor, etc., que pueden compararse con respecto a requisitos establecidos, especificación, norma, modelo o cualquier otra forma en que se hayan establecido o definido.²⁷ La producción hortofrutícola tiene un alto grado de complejidad, debido a la diversidad de productos que existen, las distintas condiciones climáticas, diferentes tecnologías y variados tamaños de las unidades de producción.⁵³

Un alimento inocuo es aquél que no causa daño a la salud humana mediante algún riesgo de contaminación, sea éste físico, químico o biológico, y para lograrlo, es necesario tener sistemas que aseguren reducir al mínimo estos tipos de riesgo, considerando que hoy en día, estos no pueden ser eliminados, pero sí minimizados a un nivel que no dañen la salud humana. Es importante resaltar que un producto de excelente calidad por atributos físicos, no necesariamente será un producto

inocuo, debido a que existen riesgos que no pueden ser observados a simple vista, tales como los químicos y microbiológicos.⁵³

El análisis de riesgos y puntos críticos de control (por sus siglas en inglés HACCP) es un método con enfoques sistemáticos y preventivos para garantizar la seguridad de los alimentos. Los cambios que se están manifestando en el ámbito comercial y económico, así como la necesidad de mejorar el nivel de vida de la población, sugieren la adecuación de los sistemas de control sanitario con el fin de disminuir los riesgos para la salud durante el manejo, uso y consumo de los productos alimenticios, además de crear una cultura de calidad tanto en los industriales como en los consumidores, así como en el personal encargado de verificar la calidad sanitaria de los mismos.⁹²

Se necesita un cuidadoso análisis de ingredientes, productos y procesos para determinar los componentes y las operaciones que requieren de un mayor control o puntos críticos de control (PCC), con la finalidad de que el producto terminado cumpla con las especificaciones que han sido desarrolladas. Identifica riesgos específicos –cualquier propiedad biológica, química o física que afecte adversamente la seguridad de un alimento– y las medidas preventivas para su control. La aplicación del método, disminuye o elimina la posibilidad de desarrollo, supervivencia o contaminación con microorganismos no aceptables desde el punto de vista de seguridad o alteración de los alimentos, así como los factores físicos o químicos que pudieran afectar negativamente la calidad de un producto y poner en riesgo la salud del consumidor; además asegura e incrementa la garantía de calidad de un producto.^{53 92}

El HACCP se aplica básicamente en la etapa de elaboración, pero además debe abarcar las etapas de distribución, almacenamiento, venta, y en algunos casos llegar hasta el uso que el consumidor le da en el hogar, y a pesar de que la industria de frutas y hortalizas procesadas conoce el sistema HACCP aún no lo adopta a sus plantas.^{92.96}

Todos los riesgos potenciales en el proceso de elaboración de un alimento deben ser analizados, desde la siembra y cosecha hasta la manufactura, distribución, venta y consumo del producto. Al hablar de la calidad de los productos agrícolas, nos referimos al conjunto de características

evaluadas por medio de análisis físicos, químicos y/o sensoriales, que tienen significación en el grado de aceptación de dichos productos por el consumidor, por lo que debemos tomar en cuenta los factores que durante el proceso productivo y postcosecha, van a incidir en la calidad del producto que se ofrece al consumidor.²⁷

La producción de frutas y vegetales ocurre en áreas generalmente remotas de los puntos de procesamiento, por lo que es necesario obtener productos libres de sustancias extrañas, residuos tóxicos y riesgos microbiológicos.¹¹⁰

El control de la calidad de la mayoría de los alimentos vegetales comienza con factores previos a la cosecha, sobre los cuales la industria no tiene decisión; tales factores suelen influir sobre el costo del alimento para el consumidor.

El proceso productivo se divide en dos grandes etapas cada una con características específicas. La primera de ellas, comprende todas las actividades que se realizan desde el momento de la preparación del terreno hasta la cosecha y transporte; mientras que la segunda incluye todas aquellas actividades que se realizan desde la recepción del producto hasta el consumidor. A lo largo del proceso de producción de las frutas y vegetales, es posible identificar para cada etapa, los probables riesgos de contaminación para el producto.⁵³

Las buenas prácticas agrícolas (BPAs) están encaminadas a brindar las recomendaciones que deben llevarse a cabo con objeto de minimizar los riesgos de contaminación en la primera etapa de la producción y las buenas prácticas de manufactura (BPMs) son las recomendaciones para minimizar dichos riesgos en la segunda etapa.⁵³

7.3.2. Control de calidad antes del procesamiento

La contaminación de frutas y hortalizas frescas, frecuentemente se debe a microorganismos transmitidos por la vía fecal-oral. Por lo tanto, se debe proveer a los trabajadores de instalaciones sanitarias adecuadas para asegurar un grado apropiado de higiene en el campo. Las frutas y vegetales frescos pueden entrar en contacto con contaminantes en cualquier punto de su trayectoria

desde el campo hasta su consumo. Incluso, se puede aseverar que todo aquéllo que entra en contacto directo con el producto puede contaminarlo.^{46,53}

Los principales agentes de contaminación del producto son los siguientes:^{48,53}

1. **El agua.** Cuando el agua entra en contacto con el producto fresco, la calidad de la misma determina la posibilidad de contaminación por esta fuente, por lo que hay que minimizar el riesgo de contaminación del agua. El agua de irrigación no debe contener residuos sin tratar o químicos tóxicos.
2. **El estiércol animal.** Se debe tener cuidado si se utiliza estiércol de animal en la producción de frutas y hortalizas, considerando que éste es un fuerte portador de microorganismos patógenos. El estiércol animal sólo debe ser aplicado cuando se asegure que se han minimizado los riesgos de contaminación del mismo.
3. **Los desechos biológicos.** Se debe tener especial cuidado en caso de que sean incorporados desechos biológicos al terreno de cultivo. Para que éstos no representen un riesgo de contaminación al producto, es decir, que hayan sido tratados.
4. **La higiene de los trabajadores.** La higiene y prácticas sanitarias de los trabajadores durante todo el proceso productivo, son esenciales para minimizar el riesgo de contaminación de frutas y hortalizas frescas.

Las BPAs se aplican a:⁵³

- Terreno
- Siembra.
- Riego.
- Plaguicidas y pesticidas.
- Fertilización.
- Manejo.
- Cosecha.
- Transporte.
- Higiene de los trabajadores en campo

Uno de los principales agentes de contaminación de las frutas y hortalizas frescas, es la salud e higiene de los trabajadores. Es muy importante concientizar a los trabajadores agrícolas de la importancia que tiene la higiene y la sanidad, no sólo para producir un producto inocuo, sino además ayuda a gozar de buena salud. Todo el personal debe entender el efecto de la falta de higiene personal y las prácticas no sanitarias en la inocuidad de las frutas y hortalizas. La higiene no

sólo protege al trabajador de enfermedades, sino que reduce la posibilidad de contaminar las frutas y vegetales lo que podría causar un gran número de enfermedades si éstas se consumen.⁵³

En países desarrollados, muchas operaciones agrícolas se realizan a tan gran escala que es mínimo el contacto humano o animal con las cosechas y esto constituye un valioso factor de seguridad sanitaria; las medidas de control de calidad se orientan más hacia reducir las pérdidas de productos por golpes, oscurecimiento, marchitado o podredumbres. En países menos desarrollados, el riesgo microbiológico es mayor por prácticas peligrosas como el abonado de los cultivos con aguas residuales sin tratar o parcialmente tratadas, o la prevalencia entre los cultivos de vectores de parásitos, bacterias y virus en forma de animales domésticos, caracoles y roedores; se combina con unas instalaciones inadecuadas para procesamiento y almacenamiento que generan niveles preocupantes de enfermedades transmitidas por alimentos.⁴⁵

Entre los factores que afectan la calidad en las operaciones y prácticas de cultivo se encuentran:²⁷

- Ecológicos: zona geográfica, clima, suelo y agua.
- Genéticos; proporciones variables de la cosecha se desviarán del color, textura, tamaño y forma adecuada,, siendo altamente recomendable plantar variedades mejoradas, resistentes a algunos factores externos y dar un buen aporte de nutrimentos.
- Labores culturales, se debe considerar un buen trazado del huerto, preparación del suelo, podas, fertilizaciones y combate de plagas y enfermedades para minimizar el daño al cultivo que lo hace susceptible a la penetración de insectos y bacterias que reducen la calidad e incrementan los costos de producción.^{27,48}

Es muy importante inspeccionar con regularidad para descubrir síntomas de enfermedad o alteración en las plantas.⁴⁸

No deben emplearse tierras que hayan sido tratadas con aguas residuales el año anterior, ya que los agentes patógenos pueden sobrevivir durante largos periodos de tiempo en el suelo.⁴⁸

Las pruebas microbiológicas para el agua de riego deben utilizar indicadores de contaminación fecal, como *E. Coli*; sin embargo, la seguridad bacteriana no indica necesariamente la ausencia de virus y protozoarios.³⁵

7.3.2.1. Cosecha

El productor debe monitorear de manera frecuente la maduración del producto para determinar el tiempo ideal de cosecha y recolectar aquéllos que tengan la madurez fisiológica o punto sazón. Los productos muy maduros se pueden dañar más fácilmente y por lo tanto tienen mayor posibilidad de ser contaminados. Asimismo, se debe evaluar los recursos necesarios para llevar a cabo la cosecha oportunamente. ^{27,46 53}

Se deben seguir las siguientes recomendaciones:²⁷

- Identificar los indicadores de madurez fisiológica o punto sazón específico para cada especie y variedad, dependiendo de la zona de producción y entre los cuales podemos mencionar: ²⁷
 - Consistencia y color de la pulpa.
 - Color, brillo y textura de la cáscara.
 - Número de días transcurridos entre el amarre de floración y la recolección.
 - Ennegrecimiento de las semillas.
 - Facilidad de desprendimiento del fruto.
 - Resistencia a la penetración.
 - Relación de sólidos solubles totales/acidez titulable.
- Todo el equipo, herramienta y maquinaria que entre en contacto con el producto debe estar limpio y en buenas condiciones, con objeto de prevenir la contaminación cruzada. El equipo debe estar bien calibrado para no dañar el producto.⁵³
- Los materiales y herramientas utilizados en la cosecha, tales como bolsas, bandejas, cubetas, contenedores, cuchillos, tijeras, etc., deben ser no-tóxicos, fáciles de limpiar y deben estar en buenas condiciones. Asimismo, nunca deben ser utilizados para otras actividades ⁵³
- Se recomienda que todas las herramientas y equipo que entren en contacto directo con el producto, sean lavados y desinfectados (con cloro o yodo por ejemplo) antes y después de su uso ⁵³

Los frutos blandos se recolectan mejor manualmente, pero son más vulnerables a la contaminación si los trabajadores no han sido capacitados con las técnicas correctas. En caso de que la cosecha

sea mecánica ésta debe ser realizada únicamente por personal capacitado, que tomen las debidas precauciones para prevenir daños al producto o contaminarlo.^{45 53, 110}

Los frutos serán inspeccionados de forma continua según van siendo llevadas al vehículo para su transporte.⁴⁸

Frecuentemente, la cosecha es la actividad que requiere de mayor número de trabajadores, por lo que se deben de tomar las medidas necesarias para que éstos no sean una fuente de contaminación para el producto. Los recolectores pueden contaminar los frutos debido a los medios primitivos que existen normalmente en los campos para la higiene personal.^{48, 53}

Es importante que todo trabajador se lave las manos antes de empezar a trabajar, inmediatamente después de ir al baño y después de manipular cualquier material que pudiera estar contaminado. El trabajador debe conocer los riesgos de contaminación, para que decida cuando lavarse las manos.

Los trabajadores que vayan a trabajar en la cosecha deben ser capacitados, especialmente en las técnicas de cosecha y prácticas de salud e higiene. A los capataces o encargados de campo y a los jefes de cuadrilla, se les debe proporcionar capacitación adicional para la identificación de los riesgos de contaminación al producto, con objeto de que sean los encargados de supervisar que:⁵³

- Todos los trabajadores siguen las prácticas de higiene y procedimientos de trabajo correctos.
- Las instalaciones sanitarias se encuentren en buenas condiciones, localizadas apropiadamente y en número suficiente para dar servicio a los trabajadores.
- Haya disponible agua potable para los trabajadores.
- Se apliquen técnicas de cosecha apropiadas.
- Los trabajadores sean capaces de detectar daños en el producto, o cualquier condición que pudiera representar un riesgo de contaminación.

Los cuidados de recolección o cosecha incluyen:²⁷

- Efectuarse en días secos y por la mañana, antes de que el sol caliente demasiado.
- Comprobar que las frutas no tengan gotas de rocío y, en caso de haberlas, se puede utilizar una frañela o trapo limpio para secarlas.
- Recolectarse con el pedúnculo y sin hojas (dependiendo de la variedad)
- Evitar manipulaciones bruscas como golpes, jalones, aventar la fruta.

- Evitar el uso de sacos de yute para recolección, ya que es el procedimiento que más daños causa a la fruta.
- Cuidar que no sufran heridas de ningún tipo (con pedúnculo largo, tijeras, uñas, etc.)
- La recolección, debe iniciarse por el exterior para irse adentrando en la copa del árbol.
- La fruta que se recolecta con el grado de maduración de consumo, debe colocarse en cajas aparte (de aquellas cortadas en su punto sazón), en cajas de condiciones sanitarias satisfactorias.
- De ser necesario, se dejarán reposar las frutas para la eliminación del látex, sobre el césped en un lugar sombreado, evitando la exposición prolongada al sol y a cubierto de cambios atmosféricos.
- En ningún caso, se mezclarán las frutas caídas del árbol con las frutas cosechadas, ambas se tratarán por separado.
- Las frutas cosechadas se irán depositando en cajas que serán de poco fondo y acoichadas con un material apropiada para cada variedad de fruta.
- Se evitará el llenado excesivo de las cajas para prevenir magulladuras.
- Se deberá hacer una selección previa durante la recolección.
- La eliminación de frutas desechas separadas durante la recolección, debe hacerse de tal forma que no contamine las frutas sanas y el agua. Las frutas que se encuentran podridas en la huerta, se deberán enterrar para evitar desarrollo de microorganismos y contaminantes.
- Deben tomarse precauciones adecuadas para que el producto no resulte contaminado por animales, insectos, pájaros, roedores, productos químicos y materia extraña en general.

La tabla 7.3. muestra los riesgos asociados al producto en esta etapa de la producción.

7.3.2.2. Transporte⁵³

Los vehículos en que se realice el transporte deben estar limpios y tener las condiciones necesarias (refrigeración en su caso) para conservar la inocuidad del producto.

Las frutas y hortalizas deben ser transportadas en condiciones que aseguren minimizar la posibilidad de contaminación química, física y microbiológica

La tabla 7.3. muestra los principales riesgos asociados al producto en esta operación.

Riesgo	Cosecha	Transporte
<i>Químicos</i>	Equipo sucio. Material de cosecha sucio o en malas condiciones. Utilización de material de cosecha para otras actividades.	Malta limpieza del equipo de transporte. Utilización del equipo de transporte para otras actividades (transportar químicos, combustible, etc.)
<i>Biológicos</i>	Falta de higiene en los trabajadores. Contaminación cruzada del producto. Procedimientos inadecuados de trabajo. Equipo y material de cosecha sucio y/o contaminado.	Sanidad e higiene inadecuada de los trabajadores. Retraso en la transportación. Utilización del equipo de transporte para otras actividades (transporte de animales, abono, desechos, etc.). Contaminación cruzada del producto.
<i>Físicos</i>	Presencia de objetos extraños en el producto cosechado (piedras, clavos, vidrio, plástico, madera, etc.)	Presencia de objetos extraños en el equipo de transporte (piedras, clavos, vidrio, plástico, madera, etc.)

Tabla 7.3. Principales riesgos asociados a la cosecha y transporte de productos hortofrutícolas (Inocuidad alimentaria)

7.3.3. Control de calidad en la planta procesadora

Los aspectos de calidad de la materia prima incluyen^{27, 98}

- Uniformidad de tamaño
- Contenido de sólidos solubles
- Color
- Textura
- Sabor y aroma
- Plaguicidas
- Metales pesados

Sólo deben destinarse a congelación las frutas que no tienen defectos o daños que pudieran favorecer infecciones fúngicas, que desarrollen aromas desagradables que persisten a veces en el fruto congelado, aptas para su consumo, de madurez uniforme y buen sabor.³⁵

Los efectos del manejo y procesamiento de alimentos sobre los microorganismos se describen en la tabla 7.4 y los parámetros que afectan los riesgos se esquematizan en la tabla 7.5.

Operación	Características del alimento	Efecto
Limpieza y lavado con agua	Fruta en estado fresco	Al eliminar la suciedad reduce el número de microorganismos
Lavado con agente microbiano	Fruta en estado fresco	Elimina a los microorganismos seleccionados de acuerdo al agente microbiano empleado
Escaldado (95-110°C)	Fruta en estado fresco	Elimina bacterias vegetativas, hongos y levaduras. Inactivación de enzimas
Almibarado	Fruta ya procesada	Detiene el crecimiento de microorganismos cuando el $a_w < 0.7$
*Congelación	Fruta ya procesada	Retarda el crecimiento de microorganismos

Tabla 7.4. Efectos del manejo y procesamiento de alimentos sobre los microorganismos (Rodríguez, M. R, 1996; *Khurdiya, D. S., 1995)

Factores inherentes al producto alimenticio	Parámetros que afectan los riesgos
Formulación/preservación	Estructura: estabilidad al descongelado/congelado Aditivos
Envasado	Permeabilidad Integridad Protección
Almacenamiento	Irregularidad en la temperatura
Práctica del consumidor	Mal uso Descongelación Contaminación cruzada Estabilidad a la congelación/descongelación

Tabla 7.5. Parámetros que afectan los riesgos (Sánchez, A., 1992)

7.3.3.1. Recepción

Previamente a la recepción de frutas y hortalizas, es recomendable efectuar algunos controles que faciliten las operaciones, como llevar un registro de productores, fechas y volúmenes de entrega y efectuar un muestreo e inspección de huertas para programar la cosecha, evaluando la calidad y cantidad de productos, de tal manera que se asegure el buen suministro de materia prima.⁵³

Así mismo, se debe tener especial cuidado de que los contenedores en que se transporta el producto, estén identificados del campo que provienen, no se encuentren en malas condiciones o excesivamente sucios.⁵³

En el momento de la recepción, es recomendable efectuar el control administrativo de entregas, llenando una boleta de recepción donde se anoten los datos pertinentes por cada lote entregado y además, efectuar un muestreo del lote para la inspección de calidad; es importante que se realice una inspección visual, con objeto de identificar la limpieza del producto, enfermedades aparentes, daños por insectos o fruta en mal estado que pudiera provocar una contaminación cruzada. Durante la inspección, se deberán anotar los datos de volumen (peso neto y peso bruto), grado de madurez, tamaños, defectos y en su caso volumen de jugo, sólidos solubles totales y acidez titulable.^{27, 53}

Dependiendo de la época de cosecha (baja o alta producción), el producto podrá pasar directamente a bandas de limpieza y/o de selección o a almacenamiento. El producto proveniente del campo, no deberá permanecer en espera por mucho tiempo antes de ser lavado y desinfectado, puesto que las altas temperaturas pueden facilitar la reproducción de posibles microorganismos.^{27, 53}

En algunos productos es necesario realizar la preselección o preclasificación del producto antes del lavado del mismo. En esos casos, será necesario que tanto el personal como la maquinaria y equipo utilizado, no presenten riesgos de contaminación para el producto.⁵³

El producto que viene del campo y que aun no se ha lavado, pudiera presentar algunos microorganismos patógenos, materia extraña o suciedad. Por lo tanto, se debe evitar que el personal y equipo de esta zona entre en contacto con el producto o superficies de etapas posteriores al lavado y desinfección, puesto que podrían contaminar el producto final. Es indispensable que la maquinaria y equipo utilizado para este proceso sea lavado antes y después de su operación.⁵³

Los riesgos asociados en esta etapa del proceso se muestran en la tabla 7.6

Los lotes de fruta que no cumplan con la calidad requerida deben rechazarse.⁹²

	Recepción	Selección
Químicos	Mala limpieza del equipo.	Equipo y maquinaria sin mantenimiento y/o sucio. Materiales de fabricación del equipo inapropiados. Uso inadecuado de químicos (ceras, pesticidas, preservadores, etc.)
Biológicos	Sanidad e higiene inadecuada de los trabajadores Procedimientos inadecuados de trabajo. Equipo de manejo sucio y/o contaminado Acceso de producto con impurezas excesivas (tierra, lodo, heces, etc.) Recipientes o contenedores sucios o en mal estado. Contaminación cruzada del producto.	Falta de sanidad e higiene de los trabajadores. Equipo sucio y/o contaminado Procedimientos inadecuados de trabajo. Contaminación cruzada.
Físicos	Presencia de objetos extraños (piedras, clavos, vidrio, plástico, madera, etc.)	Trabajadores con objetos personales riesgosos (aretes, pasadores, monedas, etc.) Uso de lámparas o focos colgantes sin protección

Tabla 7.6. Principales riesgos asociados a la recepción y selección de materia prima.
(Inocuidad alimentaria)

7.3.3.2. Selección

Tiene por objeto eliminar el producto no apto; durante esta operación es importante supervisar que efectivamente se separe la fruta inadecuada para evitar sobrecargar la línea con producto que posteriormente será eliminado, así como dar la velocidad adecuada a las bandas para una máxima eficiencia de la selección ²⁷

La selección manual puede ser útil antes del lavado si los trabajadores se entrenan adecuadamente y siguen buenas prácticas de higiene; deben usarse detectores de metales antes de la inspección.¹¹⁰

Los riesgos de contaminación asociados a esta etapa del proceso se muestran en la tabla 7.6.

7.3.3.3. Lavado y desinfección (PCC)

La prevención de la contaminación se prefiere a las acciones correctivas una vez ocurrida la contaminación. A pesar de que el agua es una herramienta útil para reducir la contaminación potencial, también sirve como fuente de contaminación o contaminación cruzada. Por lo cual se deberán tomar en consideración las siguientes prácticas:^{35, 53, 92}

- Deberá disponerse de un abastecimiento suficiente de agua potable, con instalaciones apropiadas para su almacenamiento, distribución y control. El agua utilizada en el lavado, enfriado, y otras actividades deberá ser potable, cumpliendo con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.
- Muestreo periódico del agua y pruebas microbiológicas (cada tres meses para agua de la red y cada mes para agua de pozo). En la medida de lo posible se deberán realizar análisis del agua, para determinar la existencia de coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli*, y *E. coli* (H:O157).
- Los sistemas postcosecha que utilicen agua deben ser diseñados de tal manera que minimicen la acumulación de suciedad y residuos de producto. En caso de que se utilice agua reciclada, esta deberá ser tratada y supervisada para que se encuentre en condiciones que no constituyan un riesgo de contaminación. Sólo se podrá utilizar agua reciclada sin tratar, cuando no constituya un riesgo para la inocuidad del producto (por ejemplo para un prelavado del producto) Es importante que el agua para lavado sea supervisada y cambiada de forma periódica, evitando la contaminación del producto, así como, limpiar y sanitizar las superficies en contacto con el agua tan seguido como sea necesario.
- Inspeccionar y dar mantenimiento al equipo designado para mantener la calidad el agua.
- Utilizar un método apropiado de lavado, el lavado vigoroso incrementa la remoción de patógenos el uso de cepillos es más efectivo, es necesario limpiar frecuentemente los cepillos. Se pueden utilizar diferentes métodos como inmersión, aspejado o ambos.
- Para algunas operaciones, las series de lavado son más efectivas que uno solo, como por ejemplo un lavado con agua para remover restos de suelo y posteriormente utilizar un desinfectante y enjuague con agua limpia.
- También es importante cuidar la velocidad del flujo de producto y limpieza del agua.²⁷

Es necesario seguir las BPMs para el agua usada en alimentos y de superficies en contacto con alimentos que se pueden encontrar en el título 21 del CFR (Código Federal de Regulaciones de la FDA), sección 110.37 y 110.80 para minimizar la contaminación microbiana del agua de procesamiento.³⁵

Se debe tener especial cuidado en que la temperatura del agua de lavado sea mayor que la temperatura de productos de baja densidad, tales como manzana y tomate, puesto que de no ser así, existiría una diferencia de presión que provocaría una absorción del agua por parte del producto, introduciéndose cualquier organismo patógeno que se encontrara presente.^{35, 53}

Antes de realizar la desinfección del producto es necesario eliminar previamente el exceso de materia orgánica o impurezas.⁵³

Los operadores deben leer cuidadosamente las etiquetas de los antimicrobianos, instrucciones y otra información relevante, deben seguir las instrucciones para el mezclado correcto para obtener la concentración efectiva y minimizar los riesgos, no debe excederse el nivel permitido de antimicrobiano en el agua de lavado, una concentración excesiva puede dañar el equipo, reducir la calidad del producto, ser peligroso para la salud del trabajador y puede ser dañino para el consumidor.³⁵ La eficacia del desinfectante depende de su naturaleza física o química, la temperatura del agua, el pH, el tiempo de contacto, la resistencia de los microorganismos patógenos y la superficie del producto. Se deben considerar las instrucciones del fabricante, o bien consultar con el distribuidor del producto. Es importante supervisar y controlar la concentración del desinfectante, la temperatura del agua y el tiempo de contacto del desinfectante con el producto, durante el lavado y otras operaciones de desinfección, con objeto de asegurar que se mantenga a niveles efectivos para la eliminación o disminución de microorganismos patógenos, además para evitar intoxicaciones del personal y consumidores, así como rechazos por las autoridades sanitarias.^{27, 35, 53}

El cloro se añade al agua en una concentración de 50-200 ppm de cloro total a un pH de 6-7.5 para tratamientos postcosecha durante un tiempo de 1-2 minutos.⁵³

Los niveles de antimicrobiano deben monitorearse rutinariamente para asegurar que se mantengan a la concentración apropiada; otros parámetros (como pH, temperatura y potencial de óxido-reducción) que indican el nivel de la actividad del agente o afectan su efectividad deben monitorearse y registrarse. El nivel de concentración de cloro debe registrarse en una bitácora de forma periódica (cada 30 ó 50 minutos).^{35 53}

El tratamiento superficial con agentes antimicrobianos debe ir seguido de un enjuague con agua tratada, para eliminar los residuos de desinfectante en el producto.⁵³

Los riesgos de contaminación asociados en esta etapa se muestra en la tabla 7.7.

Al ser un PCC, deben tenerse medidas correctivas como limpiar y desinfectar las cisternas, tinacos, donde se almacene el agua y adecuar el proceso de potabilización del agua.⁹²

	Lavado y desinfección ^{1,2}	Pelado ²
Químicos	Equipo y maquinaria sin mantenimiento y/o sucio. Materiales de fabricación del equipo inapropiados. Agua contaminada con sustancias tóxicas y/o metales pesados. Uso inadecuado de agentes limpiadores o desinfectantes.	Concentración inadecuada de sosa. Enjuague insuficiente
Biológicos	Sanidad e higiene inadecuada de los trabajadores. Equipo sucio y/o contaminado. Agua contaminada con microorganismos patógenos. Falta de supervisión y mantenimiento de los niveles apropiados de desinfectante.	Sanidad e higiene inadecuada de los trabajadores. Equipo sucio y/o contaminado. Agua de enjuague contaminada con microorganismos patógenos.
Físicos	Presencia de objetos extraños en el equipo (piedras clavos, vidrio, plástico, madera, etc.)	

Tabla 7.7. Principales riesgos asociados al lavado desinfección y pelado de la fruta.
(¹Inocuidad Alimentaria; ²Rodríguez, 1996)

7.3.3.4. Pelado

Los riesgos que pueden presentarse cuando se realiza manualmente se deben a las condiciones higiénicas de los trabajadores, debiendo seguir las BPMs, así como mantener el equipo limpio; los mismos riesgos se presentan en el cortado de la fruta.

Los riesgos de contaminación asociados en esta etapa se muestra en la tabla 7.7.

Cuando se emplea sosa, es necesario utilizar la concentración adecuada (2-2.5% para fruta en mitades y 3-5% para fruta entera) y enjuagar la fruta con agua a presión, por lo que es necesario verificar la eficiencia del enjuague y que no queden residuos de la solución de sosa empleada, antes, durante y después de la operación.⁹²

Las acciones correctivas incluyen:⁹²

- Diluir la solución de sosa hasta tener la concentración requerida.
- Ajustar la presión de las boquillas para tener la presión adecuada en el enjuague.
- Repetir la operación de enjuague si existen residuos de sosa.

7.3.3.5. Escaldado

La turgencia es un componente importante en la calidad de las frutas, la pérdida de turgencia se percibe como suavidad y pérdida de jugosidad, cuando la turgencia es una característica importante en el producto no se recomienda escaldar.¹⁰⁴

Es importante realizar la limpieza y sanitización del equipo en forma correcta antes y al terminar la operación para verificar la ausencia de materia extraña, cualquier suciedad y detergentes.⁹²

En caso de escaldado térmico, verificar el cumplimiento de tiempos y temperaturas establecidas, así como realizar la prueba de la peroxidasa, que debe ser negativa, para determinar la eficiencia del escaldado.⁹² Las pruebas para determinar esta actividad incluyen:⁴³

- Arnold: resina de guayacol.
- Starch: resina de p-fenildiamina.
- Eble y Pfeifer: ditió.
- Casolari: bases orgánicas.
- Wilstätter y Weber: verde de malaquita.
- Test de Morris: o-toluidina

7.3.3.6. Adición de almíbar

Cuando las frutas se congelan con jarabe o azúcar debe verificarse la calidad del agua y azúcar empleados.

Verificar el pH y °Brix del almíbar preparado y una vez añadido; además verificar el nivel de almíbar en el envase.⁵²

7.3.3.7. Congelación (PCC)

Los factores que influyen en la calidad son el tiempo y temperatura de congelación.^{27, 96}

A temperaturas de congelación no se desarrollan los microorganismos patógenos y se retarda el crecimiento de otros microorganismos.

El tiempo de congelación y la consecuente formación de cristales de hielo debe hacerse rápidamente para provocar el choque térmico necesario para matar los microorganismos.

Para que la calidad se mantenga durante el almacenamiento congelado, la mayoría de los alimentos deben solidificarse; una zona congelada parcialmente deteriorará la textura, color, sabor y otras propiedades; además permite el crecimiento de microorganismos psicrófilos y permite la actividad de enzimas; lo que se resume en que la razón principal de deterioro se debe a la alta concentración de solutos que queda en el agua remanente.⁸⁵

El equipo debe estar limpio y darle mantenimiento adecuado para evitar fugas de refrigerante, así como verificar la pureza de éste.

En la tabla 7.8 se ilustran los riesgos asociados a esta etapa del proceso.

El *producto terminado* se evalúa para determinar el cumplimiento de las especificaciones correspondientes. Se realizan estudios en el laboratorio, donde se evalúa peso, color, textura y calidad microbiológica, para ser liberado y comercializado.^{92, 72}

	Congelación	Almacenamiento y transporte
Químicos	Equipo y maquinaria sin mantenimiento y/o sucio. Fuga de refrigerante. Calidad inadecuada del refrigerante.	
Biológicos	Condiciones de tiempo y temperatura insuficientes.	Fluctuaciones de temperatura. Interrupción de la cadena fría. Instalaciones sucias o contaminadas. Daño al material de envase.
Físicos		Presencia de objetos extraños. Instalaciones sucias.

Tabla 7.8. Principales riesgos asociados a la congelación, almacenamiento y transporte

7.3.3.8. Transporte y almacenamiento (PCC)

En la tabla 7.8. se ilustran los riesgos asociados a esta etapa del proceso.

El proceso de congelación debe estar separado del de almacenamiento; el hecho de introducir materiales que no están congelados en un local de almacenamiento, acentúa la sublimación de la humedad de los otros productos depositados, además eleva la carga para el equipo frigorífico.

La temperatura de almacenamiento es crucial para determinar la retención de nutrimentos y calidad general.⁵⁴

Es importante mantener la temperatura constante para tener una vida útil de 12 meses.^{25, 95}

Si existen fluctuaciones de temperatura se presenta recristalización.

Durante el almacenamiento de productos a granel es importante mantener una humedad relativa elevada para evitar la deshidratación de productos sin empacar o a granel.

En las cámaras de almacenamiento debe haber suficiente espacio de separación y que no estén en contacto con las paredes y el suelo, para garantizar la adecuada circulación del aire.

Las instalaciones de transporte y almacenamiento deben estar limpias y evitar que estén en contacto con otro tipo de productos.

Debe mantenerse la cadena fría.

Evitar la manipulación violenta y el transporte sobre superficies sucias, que pudieran dañar el envase y permitir la contaminación del producto con materia extraña, microorganismos.⁹²

Para evitar la oxidación catalizada por luz y evitar la formación de radicales libres se deben tener las precauciones:⁴⁹

- Para la iluminación de los muebles se descartarán lámparas de incandescencia y se usarán tubos fluorescentes limitándose, en lo posible, a una iluminación de 600 lux.
- En los muebles con puertas o tapas de cristal se aplica sobre el vidrio una capa reflectante que reducen la absorción de rayos infrarrojos por los productos.
- Algunos medios para mejorar el mantenimiento de la temperatura consisten en utilizar tapaderas de noche, placas puestas sobre los rebordes, pantallas reflectoras y embalajes reflectores.

7.3.3.9. Uso del consumidor (PCC)

Generalmente la fruta congelada no es sometida a tratamientos previos por parte del consumidor; cuando se utiliza en alimentos preparados puede o no someterse la fruta a un tratamiento posterior, como sería el térmico a través de un horneado en el caso de pasteles rellenos. El consumidor debe seguir las instrucciones del fabricante, evitar la contaminación cruzada; es indispensable que el consumidor guarde el producto sobrante en congelación y no repita los ciclos de congelación/descongelación.

En la tabla 7.9. se ilustran los riesgos asociados a esta etapa del proceso.

La descongelación convencional se realiza en cámaras de descongelación a temperaturas de refrigeración, pero es un proceso muy lento, pero reducir el tiempo por altas temperaturas resulta en un descenso en la calidad del producto, como pérdidas de peso por goteo, desecación de la superficie y el riesgo de la contaminación microbiana ¹⁰⁴

En productos vegetales, es preferible una descongelación rápida y un consumo inmediato para obtener un producto de mejor calidad, considerando que por el rompimiento de la pared celular se liberan endoenzimas y microorganismos. que alteran la calidad del vegetal. ⁶⁸

Se ha demostrado que bajo condiciones controladas de descongelación se puede controlar la calidad de un producto congelado, pues una descongelación inadecuada, además de problemas de exudación y la consecuente pérdida de nutrimentos, también puede traer problemas de índole microbiano. ⁶⁸

Las levaduras son las que se desarrollan más fácilmente durante la descongelación lenta; la presencia de un gran número de hifas indica que se han congelado frutas de baja calidad, con porciones descompuestas.⁵⁸

Después de la descongelación las frutas son más susceptibles a la invasión de microorganismos que la fruta fresca, siendo esencial procesarla inmediatamente para prevenir la supervivencia de microorganismos que pudieran reproducirse.⁵⁶

Descongelación	
<i>Químicos</i>	
<i>Biológicos</i>	Temperatura elevada. Tiempo prolongado. Contaminación cruzada.
<i>Físicos</i>	

Tabla 7.9. Principales riesgos asociados a la descongelación

7.4. Legislación

7.4.1. Legislación mexicana

Las normas relacionadas a alimentos congelados se refieren a huevo entero y a productos de la pesca (cangrejo de surimi, caracol, abujón, pulpo, filete de pescado, calamar, porciones empanizadas, pulpa de pescado, langosta y camarón).¹⁰²

En el Reglamento Control Sanitario de Productos y Servicios (1999) las frutas congeladas se consideran dentro de los productos y derivados de las frutas en el título octavo:¹⁰⁵

ARTÍCULO 100. Las frutas y hortalizas deberán cumplir con lo siguiente:

- I. Estar en buenas condiciones de conservación, desprovistas de humedad exterior anormal y sin olor ni sabor extraño;
- II. Estar libres de huevecillos, larvas, insectos, gusanos, moluscos o de partes o de excretas de cualquiera de ellos;
- III. Estar libres de materias extrañas adheridas a la superficie, y
- IV. No exceder el límite máximo de residuos de plaguicidas, sustancias tóxicas y microorganismos que se establezcan en las normas correspondientes.

En la sección VII.1.2. del apéndice del reglamento se define a las frutas y hortalizas congeladas como los productos que pueden ser enteros, troceados, cortados, pelados y desinfectados, sometidos o no a tratamiento térmico y posterior congelación.

Sección VII.2 En la fruta troceada y productos de la fruta sólo se permite el empleo de los siguientes aditivos para alimentos:

VII.2.1. Esencias naturales de frutas, los ácidos: cítrico, málico, tartárico o láctico y no más de 1 mg/kg de dimetil-polisiloxano como antiespumante;

VII.2.2. Metabisulfito de sodio, no más de 100 mg/kg expresado como SO₂.

No se ha elaborado una norma específica para frutas congeladas.

7.4.2. FAO³³

En la tabla 7.10. se muestran las frutas congeladas rápidamente reguladas por el Codex Alimentarius.

También se regulan el proceso, manejo y almacenamiento de alimentos congelados:

- Código Internacional de Prácticas para la Elaboración y Manipulación de Alimentos Congelados Rápidamente (CAC/RCP 8-1976).
- Procedimientos Normalizados Internacionales Recomendados para la Descongelación de Frutas y Hortalizas IQF (CAC/RM32/33 1970).

7.4.3. FDA¹⁰⁴

Los estándares del USDA de fruta congelada se encuentran en el Code of Federal Regulations; en la tabla 7.10. se muestran las normas que las rigen.

Fruta	FAO: ¹ CODEX-STAN.)	FDA: ² 7 CFR 52 sección
Arándano	76-1981	6281
Bayas		5881
Cerezas dulces		3161
Cruela		2911
Chabacano		5521
Durazno	75-1981	3551
Frambuesa	69-1981	1871
Fresa	52-1981	1981
Manzana		361
Mora azul	103-1981	611
Piña		1741
Uvas		1171

Tabla 7.10. Normas del Codex Alimentarius y Secciones del Code of Federal Regulations para frutas congeladas. (¹FAO, 1995; ²Somogyi, 1996)

7.4.4. Legislación española⁷³

La legislación española regula las condiciones de almacenamiento y ultracongelación de alimentos; en la tabla 7.11 se muestran los decretos correspondientes.

	Real decreto
Condiciones de almacenamiento frigorífico de los alimentos	168/1985
Reglamento técnico sanitario en transporte	2483/1986
Ultracongelación	380/1993.

Tabla 7.11. Legislación española relacionada a productos congelados. (Madrid, 1994)

8. Análisis de la investigación bibliográfica

Las frutas son productos de gran importancia por los nutrimentos que aportan y son consumidas ampliamente, de lo que surge la necesidad de aplicar tecnologías para mantener sus características por un tiempo prolongado y disminuir las pérdidas tan importantes que se tienen hoy en día.

La congelación es el proceso de conservación que mantiene las características de las frutas más parecidas a la fruta fresca, tanto a nivel sensorial como nutrimental ya que no destruye la estructura celular. Otras ventajas incluyen la de uniformar los precios del producto en el mercado al hacerlas disponibles durante todo el año, reducir el espacio de almacenamiento, tiempo de preparación y residuos generados, que se resume en productos de calidad y comodidad al consumidor.

El mercado de frutas congeladas incluye a consumidores, industrias y al mercado institucional como hoteles, restaurantes y hospitales, así como industrias que las utilizan en procesos posteriores como en la elaboración de yogurt, helado, néctares, jaleas, mermeladas y productos de panificación.

El interés en las frutas congeladas individualmente ha crecido, por lo que es necesario desarrollar nuevas tecnologías para el ahorro de energía, costos y obtener productos de alta calidad. Para frutas IQF se recomienda generalmente la congelación por lecho fluidizado.

El grado de calidad del producto depende del uso final que se le de; en productos de consumo directo se requiere de una textura y apariencia determinada, manteniendo su forma y estructura, mientras que para otros procesos no es tan importante ya que al someterse a otras etapas posteriores, como puede ser macerado, que resulta en ruptura del tejido, pueden utilizarse frutas congeladas lentamente.

La variedad y el estado de madurez son los factores biológicos más importantes para congelar frutas, sin embargo, se hace especial énfasis en la importancia de los factores precosecha que determinan la calidad de la materia prima. Se prefieren variedades de aroma fuerte y lo suficientemente maduras para tener el sabor y consistencia que se mantengan después de la congelación.

Las enzimas de importancia en frutas no se inactivan totalmente o incluso se reactivan durante el almacenamiento, por lo que es necesario realizar estudios de su actividad para determinar la vida de anaquel del producto. Es muy importante, inactivarlas por medio de escaldado ya sea térmico o químico; la mayoría de las frutas no soportan el escaldado térmico pues ablanda sus tejidos o puede provocar pérdida de aroma.

La velocidad de congelación es un factor muy importante, prefiriéndose métodos de congelación rápida; los métodos de congelación más recomendados para frutas destinadas a consumo directo son los criogénicos y los criomecánicos: para fruta en grandes contenedores se utiliza la congelación por corriente de aire. Cuando se emplea la congelación criogénica debe tenerse cuidado en el tiempo de exposición para evitar el resquebrajamiento provocado por sobreenfriamiento.

Con la finalidad de mantener los atributos sensoriales se ha recurrido al uso de aditivos, ya sea para evitar cambios de color, acentuar el sabor, textura o crioprotectores. Tal es el caso de antioxidantes como el ácido ascórbico y sulfitos para reducir el oscurecimiento; cuando se usan jarabes o azúcar se obtiene un sabor agradable y al bajar el punto de congelación funcionan como crioprotectores protegiendo al tejido y excluyendo al oxígeno reduciendo el oscurecimiento, pero es importante la penetración del crioprotector, lo que lleva al desarrollo de técnicas como la de impregnación al vacío, se recurre al calcio para obtener un producto más firme al interaccionar con las pectinas presentes en las lamelas medias, incluso en fresa se ha utilizado antes de la cosecha, obteniendo el mismo efecto.

El envase es un factor importante para proteger el producto y mantener sus cualidades, así como, darlo a conocer; la elección del envase también depende del mercado al que va dirigido el producto, prefiriéndose bolsas de polietileno para el consumidor de consumo directo.

Es muy importante la calidad de las materias primas, higiene durante el procesamiento y evitar las fluctuaciones de temperatura durante el almacenamiento para obtener un producto seguro, ya que

las temperaturas que se manejan solamente detienen el crecimiento microbiano. Los cambios de temperatura pueden producir efectos desagradables, incluso inaceptables como la quemadura, recristalización, pérdida de consistencia, pérdida de peso por goteo y al desarrollo de microorganismos que pudieran estar presentes.

Las condiciones y cuidados de descongelación, ya sea a nivel consumidor o industrial, deben ser los mismos para evitar el desarrollo y contaminación microbiana, recomendándose que se lleve a cabo en condiciones de refrigeración. a pesar de ser lento, o microondas, que es cuestionable en cuanto a la retención de nutrimentos y evitar el sobrecalentamiento.

La información recopilada se enfoca más a las bayas, principalmente fresa, durazno y manzana por su importancia comercial. La información de frutas tropicales no es tan amplia y la de frutas subtropicales es escasa a pesar de que la congelación es un método adecuado para darles valor agregado y hacerlas disponibles en otros países.

Para la aplicación de esta tecnología en nuestro país, es necesario contar con la infraestructura de congelación, almacenamiento y distribución adecuada para abastecer al mercado que está en crecimiento

Es necesario desarrollar programas para interesar y apoyar a los productores hortofrutícolas en la congelación como un medio para minimizar las pérdidas postcosecha, destinar la fruta que no reúne los estándares de exportación y para obtener distintos productos paralelos como jaleas, mermeladas, etc

En México no se cuenta con legislación para este tipo de productos, por lo que debe recurrirse a la establecida por la FDA y Codex Alimentarius. En cuanto a las estadísticas de frutas congeladas en México, el INEGI únicamente reporta datos de fresas, mientras que la Cámara Nacional de la Industria de Conservas, sólo hace referencia a verduras congeladas, lo que refleja la poca importancia que se le da a este tipo de productos.

9. Conclusiones

En este trabajo se realizó una recopilación sobre la congelación y sus efectos en frutas, dada la *tendencia al aumento en el consumo* de productos procesados y por ser una tecnología en crecimiento al obtenerse productos más parecidos al estado fresco.

Las frutas son muy delicadas por lo que aparte de la variedad y madurez adecuada, de la información recopilada se obtiene que los factores más importantes para mantener la calidad del producto son la velocidad de congelación, elección del método y las condiciones de almacenamiento y transporte.

La mayor parte de la información disponible proviene de otros países y se enfoca a frutas que no se producen en México o cuya producción es insuficiente por lo cual es necesario importarlas, tal es el caso de durazno, manzana y bayas.

Para aplicar esta tecnología en México se requiere del desarrollo de más investigación de frutas tropicales y subtropicales, cuya información proviene de otros países como India, Italia y España. a pesar de la riqueza de frutas con que cuenta incluso, los estudios sobre frutas como tuna y zapote son prácticamente inexistentes, siendo la congelación un método adecuado para explotarla y darles valor agregado.

10. Bibliografía

1. Aczel, J. 1997. Rising demand for fruit & veg. F&CF. 51(9):10-11.
2. Aczel, J. 1998. High demand. F&CF. 52(9):27.
3. Alonso, J., Canet, W., and Rodríguez, T. 1997. Thermal and calcium pretreatments affect texture, pectinesterase and pectin substances of frozen sweet cherries. J. Food Sci. 62(3):511-515.
4. Alonso, J., Rodríguez, T., and Canet, W. 1995. Effect of calcium pretreatments on the texture of frozen cherries, role of pectin esterase in the changes in the pectic materials. J.Agric. Food Chem. 43(4):1011-1016.
5. Andrade, R. J. 1996. Frigoconservación de Seis Variedades de Tuna *Opuntia Spp.* Tesis. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma de Chapingo.
6. Anónimo. 1994. Food pack showcase. QFFI. 36(2):114
7. Anónimo. 1995. The frozen food almanac. QFFI. 37(2): A1-A23.
8. Anónimo. 1997. Equipos de Congelación. Alimentos Procesados. Agosto, p 72.
9. Anónimo. 1999. Fruit, nut & vegetable ingredients. Prepared foods. 168(5):64.
10. Anzaldúa-Morales, A., Brusewitz, G. H, and Anderson, J. A. 1999. Pecan texture as affected by freezing rates, storage temperature, and thawing rates. J. Food Sci. 64(2):332-335.
11. Ariola, M. 1984. Daños por Frío de Algunas Frutas Tropicales en La Refrigeración como Medio para Disminuir las Pérdidas Postcosecha Secretaría De Ciencia y Técnica, Programa Nacional De Investigaciones de Tecnología de Alimentos. Buenos Aires, Argentina. Tomo I, p 49.
12. Arthey, D. 1992. Procesado de Hortalizas Acribia. Zaragoza. España. Capítulos. 5 y 8.
13. Bartolomé, A. P., Rupérez, P, and Fúster, C. 1996. Changes in soluble sugars of two pineapple fruit cultivars during frozen storage. Food Chem. 56(2):163-166.
14. Bartolomé, A. P., Rupérez, P, and Fúster, C. 1996. Freezing rate and frozen storage effects on color and sensory characteristics of pineapple fruit slices. J. Food Sci. 61(1):154-157.
15. Branen, L. 1990. Food Additives. Marcel Dekker. New York, USA.
16. Braverman, J. B. S., y Berk. Z. El Manual Moderno. México, D. F. 1980. Introducción a la Bioquímica de los Alimentos

17. Brennan, J. G; Butters, J R; Cowell, N. D; Lilley, A E V. 1990. Food Engineering Operations. Elsevier Applied Science. 3rd edition. London, UK. Chapter 14
- 18 Brody, A. L 1997 Chilled foods distribution needs improvement. Food Technol. 51(10):120.
19. Canainca. 1998. Memoria Estadística. Canainca. México. D. F.
20. Cano, M P. 1990. Freezing of banana slices, influence of maturity level and thermal treatment prior to freezing. J. Food Sci. 55(4):1070-1072.
21. Cano, M P., Lobo, M. G., and De Ancos, B. 1998. Peroxidase and polyphenol oxidase in long-term frozen stored papaya slices. Differences among hermaphrodite and female papaya fruits. J. Sci Food Agric. 76:135-141.
- 22 Cano, M P., De Ancos, B., and Lobo, G. 1995. Peroxidase and polyphenoloxidase activities in papaya during postharvest, ripening and after freezing/thawing. J. Food Sci. 60(4):815-817.
23. Cano, M. P. Lobo, G. M., and De Ancos, B. 1993. Pigment and colour stability of frozen kiwi-fruit slices during prolonged storage. Z Lebensm Unters Forsch. 197(4):346-352.
24. CEA 1998 Consumos Aparentes de Productos Agrícolas 1925-1997. CEA. México, D.F.
- 25 Celorio, B. C 1993. Diseño del embalaje para exportación. Bancomext. México, D. F.
- 25 Charley H. 1987 Tecnología de alimentos. Limusa. México
- 27 Comisión Nacional de Fruticultura. 1982 Manuales Técnicos para la Elaboración de Cursos de Capacitación. Normalización y Control de Calidad de Frutas y Hortalizas. No. 3. Comisión Nacional de Fruticultura. México, D.F.
28. Cox, P. M. 1987. Ultracongelación de Alimentos Acirbia Zaragoza, España.
- 29 Davidson, P. M. 1993. Antimicrobials in Foods. Marcel Dekker. New York, USA.
- 30 Dunn, D. 1997. Time to address the quality issue. F&CF. 51(9):13-14.
- 31 Dziuk, O C. 1994. El reto de la formulación: formulando para los alimentos congelados. Alimentos procesados. 13(2):55-56.
32. Eskin, M 1991. Quality and Preservation of Fruits. CRC Press. Florida, USA.
- 33 FAO. 1995 Codex Alimentarius. Comisión del Codex Alimentarius. Rome, Italy. Vol 5A, 6.
34. FAO. 1995. Fruit and Vegetable Processing. FAO. Agricultural Services. Rome, Italy. Bulletin 119, chapters 1-3, 7.
35. FDA. 1998. Guide to Minimize Microbial Food Safety Hazards for Fresh Fruits and Vegetables. Washington, D.C , USA.

36. Fennema O. R. 1993. Química de los Alimentos. Acribia. 2ª edición. Zaragoza, España.
37. Finn, C. E., and Lawrence, F. J. 1998. "Black butte" trailing blackberry. Hortsc. 33(2):355-357.
38. Fox. 1991. Food Enzimology. Elsevier Applied Science. London, UK. V1
39. Fúster, C., Préstamo, G., Cano, M. P. 1994. Drip loss, peroxidase and sensory changes in kiwi fruit slices during frozen storage. J. Sci Food Agric 64:23-29.
40. Gameiro. W. 1995. ¿Por qué necesitamos el frío industrial? Industria Alimenticia. 6(10):30-36.
41. Gaonkar A. G. 1995. Food Processing. Elsevier. USA. Chapter 12.
42. Gorny, B. 1999. Quality changes in fresh-cut peach and nectarine slices affected by cultivar, storage atmosphere and chemical treatment. J. Food Sci. 64(3):429-432.
43. Gruda, Z. Postolski, J. 1986. Tecnología de la Congelación de alimentos. Acribia. Zaragoza, España.
44. Hernández S. O. 1997. Congelación de Frutas Tropicales, Mango (*Mangifera indica* L) y Papaya (*Carica papaya*). Tesis. Depto de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma de Chapingo.
45. Herrero. A. 1992. Conservación de frutos. Mundiprensa Madrid, España
46. Hills, B. P., and Remigerau, B. 1997. NMR studies of changes in subcellular water compartmentation in parenchyma apple tissue during drying and freezing International J. Food Sci and technology. 32:51-61.
47. Hung, Y. C., Kim, N. K. 1996. Fundamental aspects of freeze-cracking. Food Technol. 50(12):55-61.
48. ICMSF. 1991. El sistema de análisis de Riesgos y Puntos Críticos. Acribia. Zaragoza, España.
49. IIF. 1990. Alimentos Congelados, Procesado y Distribución Acribia Zaragoza, España.
50. Inagaki. J. 1993. Method for freeze-storage of fresh fruits. United States Patent.
51. INEGI. 1998. Encuesta Industrial Mensual. Resumen Anual. INEGI. Aguascalientes, México.
52. INEGI. 1999. Estadísticas Económicas: Balanza Comercial de México. INEGI. Aguascalientes, México.
53. Inocuidad alimentaria. Guía Mexicana para la Adopción de Buenas Prácticas Agrícolas y de Manufactura que Permitan Asegurar la Inocuidad de Frutas y Hortalizas frescas. México, D.F.
54. Ituarte. G. B. 1996. Congelación Criogénica para la Conservación de alimentos. Tesis. Facultad de Química. UNAM.

55. Izumi, H. 1999. Electrolyzed water as a disinfectant for fresh-cut vegetables. *J. Food Sci.* 64(3):536-539.
56. Jeremiah. L. E. 1996. *Freezing Effects on Food Quality*. Marcel Dekker. New York, U. S. A.
57. Jones, J. M. 1995. *Food Safety*. Eagan Press. 2nd printing. Minnesota. USA.
58. Khurdiya, D. S. 1995. *Non thermal methods for preservation of fruits and vegetables: a critical appraisal*. *J. Food Sci Technol.* 32(6):441-452.
59. Kim, N. K., and Hung, Y. C. 1994. Freeze-cracking in foods as affected by physical properties. *J. Food Sci.* 59(3) 669-674.
60. Kmiecik, W. 1995. Effect of different thawing techniques on the quality of small fruit frozen products. *Roczniki-Panstwowego-Zakladu-Higieny.* 46(2):135-143.
61. Koelet, P. C. 1997. *Frío Industrial*. AMV Madrid España. Capitulo 8.
62. Kyzlink, V. 1990. *Principles of Food Preservation*. Elsevier. USA. p 430-457.
63. Lee, C. Y., Whitaker, J. R. 1995. *Enzymatic Browning and Its Prevention*. American Chemical Society. Washington, D. C. USA.
64. Leepipattanawit, R. 1997. Control decay in modified atmosphere packages of sliced apples using 2-nonanone vapor. *J. Food Sci.* 62(5):1043-1047.
65. Lin, Z. 1995. Influence of blanching treatments on the texture and color of some processed vegetables and fruits. *Journal of food processing and preservation.* 19(6):451-465.
66. López, C. G. 1997. *Diseño, Reparación y Mantenimiento de un Túnel Criogénico para la Congelación de Alimentos*. Tesis Universidad La Salle.
67. López, G. A. 1994. *Las Instalaciones Frigoríficas en las Industrias Agroalimentarias*. AMV. Madrid, España.
68. Luallen, T. E. 1994. The use of starches in frozen food formulation. *Food Technol.* 48(5):39.
69. Lucas, T., and Raoult-Wack, A. L. 1996. Immersion chilling and freezing: phase change and mass transfer in model foods. *J. Food Sci.* 61(1):127-131.
70. Lucas, T., François, J., and Raoult-Wack, A. L. 1998. Transport phenomena in immersion-cooled apples. *International J. Food Sci and technology.* 33(5):489-499.
71. Lurie, S. 1998. Postharvest heat treatments. *Postharvest biology and technology.* 14 (3): 257-269.
72. Madrid, V. A. 1991. *Los Gases en la Alimentación*. AMV. Madrid, España.

73. Madrid, V. A. 1994. Refrigeración, Congelación y Envasado de los Alimentos. AMV. Madrid, España.
74. Mallet. 1993. Frozen Food Technol. Blackie Academic & Professional. USA.
75. Manzocco, L., Mastrocola, L., and Poiana, M. 1998. Control of browning in frozen puree of cherimoya (*Annona cherimola* Mill) fruit. *Sci. Aliments*. 18(1):101-107.
76. Martínez, K., y Salazar, A. 1999. Los dejamos fríos. *Tecnología de Alimentos*. 34(2):18-28.
77. Martínez-Monzó, J., Martínez-Navarrete, N., Chirali, A., and Fito, P. 1998. Mechanical and structural changes in apple (var Granny Smith) due to vacuum impregnation with cryoprotectants. *J. Food Sci.* 63(3):499-503.
78. Mejía L. D. 1989. El preenfriamiento de los Productos Alimenticios. *Panorama Sistemático de las Aplicaciones de la Tecnología de las Bajas Temperaturas a los Alimentos*. UNAM.
79. Mermelstein, N. H. 1997. Triple-pass immersion freezer eliminates need for separate mechanical freezer. *Food Technol.* 51(7):133.
80. Meskin, M. S. 1998. Regulating organic foods. *Food Technol.* 52(7):114.
81. Mizuno, A., Mitsuiki, M., Toba, S., and Motoki, M. 1997. Antifreeze activities of various food components. *J. Agric. Food Chem.* 45(1):14-18.
82. Onuma, O. B. 1998. World food security: the role of postharvest technology. *Food Technol.* 52(1):64-70
83. Pauli, R. E. 1997. Postharvest handling and losses during marketing of papaya (*Carica papaya*). *Postharvest biology and technology*. 11 (3) 165-179.
84. Plank, R. 1984. El Empleo del Frío en la Industria de la Alimentación. Reverté. Barcelona, España.
85. Potter, N. 1995. Food Science. Chapman and Hall. 5th edition. New York, USA.
86. Prakasn. K., Madaiah, N., Naginchand., Varadaraj, M. C., and Nanjundasamy, A. M. 1996. Studies on the freezing of jackfruit, mango and sapota. *Ind Fd Packer*. 50(6).83-94.
87. Quintero-Ramos, A., Bourne, M. C., Barnard, J., and Anzaldúa-Morales, A. 1998. Optimization of low temperature blanching of frozen jalapeño pepper (*Capsicum annum*) using response surface methodology. *J. Food Sci.* 63(3):519-521.
88. Rangel, S. L. 1995. Alimentos Congelados: Fundamentos, Alteraciones y Expectativas en el mercado para los próximos años. Tesis Universidad La Salle, México, D.F.

89. Rhule, J. 1998. Natural effect. *F&CF*. 52(9):24-25.
90. Rice, J. 1997. Última generación en congelamiento. *Alimentos procesados*. 16(3):57-60.
91. Robbins, W. W. 1961. *Botánica General. Hispanoamericana*. México, D. F. pp 256-266.
92. Rodríguez, M. R. 1996. Aplicación del Análisis de Riesgos, Identificación y Control de Puntos Críticos en la Elaboración de Frutas Tratadas Térmicamente. SSA. México, D. F.
93. Romojaro, F. 1996. Nuevas Tecnologías de Conservación de Frutas y Hortalizas. Mundiprensa. Barcelona, España. p 19-37.
94. Sá, M. M., Figueredo, A. M., Correa, A., and Sereno. A. M. 1994. Apparent heat capacities, initial melting points and heats of melting of frozen fruits measured by differential scanning calorimetry. *Rev Esp Cienc Tecnol Aliment*. 34(2):202-209.
95. Salunkhe, D. K. 1995. *Handbook of Fruit Science and Technology* Marcel Dekker. New York, USA.
96. Sánchez, A. F (b). 1992. Curso de Calidad Sanitana de las Frutas y Hortalizas Procesadas. SSA. México, D.F.
97. Sánchez, A. F.(a) 1992. Control de Calidad de Alimentos en México. Inspección de Frutas y Hortalizas Procesadas. México, D.F.
98. Sapers, G. M. 1999. Efectiveness of sanitizing agents in inactivating *Escherichia coli* in Golden delicious apples. *J. Food Sci*. 64(4):734-737.
99. Sapers, G. M., and Simmons, G. F. 1998. Hydrogen peroxide disinfection of minimally processed fruits and vegetables. *Food Technol*. 52(2):48-52.
100. Saravacos, G. D., and Kostaropoulos, A. E. 1995. Transport properties in processing of fruits and vegetables. *Food Technol*. 49(9):99-105.
101. SARH Frutas y Hortalizas Congeladas. Coordinación General de Desarrollo Agroindustrial. México. Folleto.
102. SECOFI. Catálogo de Normas. DGN.
103. Singh, R. P. 1998. *Introducción a la Ingeniería de los Alimentos*. Acibia. 2a. edición. Zaragoza. España.
104. Somogyi, L. P. 1996. *Processing Fruits: Science and Technology*. Technomic. Pennsylvania, USA.

105. SSA. 1999. Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios. *Diario Oficial de la Federación*. 9 de agosto de 1999.
106. Stephen, A. M. 1995. *Food Polysaccharides*. Marcel Dekker. New York, USA.
107. Swientek, R. J. 1992. Frozen foods with fresh qualities. *Food processing*. 53(10):55.
108. Taira, S. 1998. Effects of freezing rate on astringency reduction in persimmon during and after thawing. *Postharvest biology and technology*. 14 (3): 317-323.
109. Torija, E., Díez, C., Matallana, C., Camara, M., Camacho, E., and Mazario, P. 1998. Influence of freezing process on free sugar content of papaya and banana fruits. *J. Sci Food Agric*. 76:315-319.
110. Troller, A. 1993. *Sanitation in Food Processing*. Academic press inc. San Diego, Ca. USA.
111. Vedralina-Dragojevic, T. 1997. Effect of blanching, drying, freezing and storage on degradation of β -carotene in different fruits. *Nahrung*. 41(6):355-358
112. Virtanen, A. J., Goedenken, D. L., and Tong, C. H. 1997. Microwave assisted thawing of model frozen foods using feed-back temperature control and surface cooling. *J. Food Sci*. 62(1):150-154.
113. Wong, D. W. S. 1989. *Química de Alimentos*. Acribia. Zaragoza, España.
114. Wrolstad, R. E., Skrede, G., Lea, P., and Enersen, G. 1990. Influence of sugar on anthocyanin pigment stability in frozen strawberries. *J. Food Sci*. 55(4):1064-1065.

Fruta	Materia Prima	Productos	Pretratamiento	Métodos Recomendados	Problemas	Propiedades Evaluadas	Aditivos
Bayas	Excepción uva Firme Madura Completamente coloreada Buen aroma	Puré IQF (entera, rebanada) Procesos posteriores o a granel con azúcar	Preenfriamiento con aire forzado (2°C/15-30h) o agua. Puré: machacado calentamiento, tamizado, pasteurización y adición de azúcar.	velocidad 5-20 cm/h Criogénico (inmersión + túnel) N ₂ , CO ₂ Lenta (fruta con azúcar) Criomecánico IQF: lecho fluidizado, aire forzado (-40°C), criogénico Almacenamiento: -20 a -23°C Descongelación: refrigeración o temperatura ambiente	Pérdida de peso Deshidratación	Sólidos solubles Vitamina C Antocianinas Pérdida de peso Exudado Acidez	Azúcar: 3:1, 4:1, 7:1
Fresa	Bajo peso	Rebanadas con azúcar y/o jarabe Puré con o sin semilla IQF (entera)	Puré: pasteurización (88°C/1.5-2 min), enfriamiento (15-21°C) Inmersión en solución de azúcar: (30%), almidón (0.3%) agar (0.3%)/15 s Vacío	Criogénico: aspersión N ₂ Criomecánico: túnel N ₂ + lecho fluidizado IQF: aire forzado, ráfaga, N ₂ , CO ₂ Temperatura crítica -40 a -60°C Almacenamiento: -20 a -23°C Descongelación en oscuridad	Oscurecimiento enzimático Olores desagradables Deshidratación Pérdida y modificación de sabor, color y aroma Pérdida de textura Sólidos solubles Composición de azúcares	Acidez Vitamina C Antocianinas Pérdida de peso Textura Color Sabor (volátiles) Exudado	Azúcar: 4:1, 5:1 Jarabe de sacarosa (20, 30, 40°Brix,) CaCl ₂ Pectina de bajo metoxilo

Fruta	Materia Prima	Productos	Pretratamiento	Métodos Recomendados	Problemas	Propiedades Evaluadas	Aditivos
Cereza	Montmorency, English Morello, Early Richmond Cerezas oscuras: Bing, Lambert, Black Republican Ligeramente dulces: Napoleon, Rainier	Con azúcar o jarabe para otros procesos IQF	Transporte en agua fría con hielo Escaldado térmico (túnel de vapor 71°C) Pasteurización (60-70°C) Escaldado químico: ácido cítrico (350mg/15 oz) y ácido ascórbico (200mg/15oz) Deshuesado Preenfriamiento	N ₂ Aire forzado Criomecánico: inmersión N ₂ + lecho fluidizado Túnel (-35°C, 4m/s) Almacenamiento: -20°C Descongelación: chorro de agua o refrigeración (5°C/14h)	Oxidación Cambios de color y sabor Pérdida de firmeza Deshidratación Pérdida de peso Pérdida de vitaminas	Color Olor Firmeza	Azúcar 5:1 Jarabe 50-60°Brix CaCl ₂ Ácido cítrico: 0.5% Ácido ascórbico: 0.3%
Mango	Aiphonso Baneshan Kinsigton Totapuri Langra Tomy Harden	Puré concentrado Rebanadas IQF Rebanadas de mango verde Tiras y cubos con azúcar	Inmersión en solución salina al 2% y en jarabe (5°C/1día)	IQF (-30°C) Criogénica: N ₂ Corriente de aire (-40°C, 4m/s) Almacenamiento: -18°C Descongelación: microondas	Pérdida de textura Pérdida de vitamina C Pérdida de peso Cambio de color Sabor amargo (calcio)	Vitaminas Pérdida de peso pH Sólidos solubles Acidez Color Sabor Textura Actividad enzimática	Azúcar: 1:1, 2:1 Jarabe de sacarosa: 32-40°Brix Ácido ascórbico Ácido cítrico Calcio Pectina

Fruta	Materia Prima	Productos	Pretratamiento	Métodos Recomendados	Problemas	Propiedades Evaluadas	Aditivos
Manzana	Ligeramente ácidas Consistencia Jugosas Con poca tendencia al pardeamiento Madurez completa Jonathan Cox's Orange Golden delicious Schwiser orange Baldwin	Rebanadas IQF Rebanadas con azúcar	Impregnación al vacío Escaldado en jarabe al 40% (1.5-3min), adición de ácido ascórbico	IQF: lecho fluidizado, N ₂ , CO ₂ Criogénico: N ₂ Congelación rápida + descongelación rápida	Ablandamiento Requebrajamiento Pérdida de peso	Pérdida de peso por goteo Exudado Textura Agua congelable Vitaminas	Azúcar: 5:1, 10:1 Jarabe: 30°Brix Bisulfito de sodio Ácido ascórbico SO ₂ , CO CaCl ₂
Durazno	Madurez: 18-31N de firmeza Sunbeam Pulpa amarilla	Rebanadas IQF Rebanadas en jarabe	Deshuesado Escaldado químico	IQF Congelación rápida y descongelación rápida (microondas)	Pérdida de peso Oscurecimiento enzimático Pérdida de vitamina C	Pérdida de peso Textura Exudado Vitaminas	Azúcar: 5:1 con 250 ppm de ácido ascórbico Jarabe de pera o manzana con 0.05-0.2% de ácido ascórbico

Fruta	Materia Prima	Productos	Pretratamiento	Métodos Recomendados	Problemas	Propiedades Evaluadas	Aditivos
Kiwi	Hayward Bruno	Puré Pulpa Rebanadas		Rápida	Deshidratación Pérdida de sabor Pérdida de Firmeza Color amarillo Vitamina C	Clorofila Xantofila Carotenoides Firmeza Vitamina C Apariencia Sabor Pérdida de peso	
Piña	Color amarillo Buen aroma y sabor Libre de defectos Rebanadas semitraslúcidas Color intenso Cayena suave	Rodajas y cubos en jarabe o azúcar		Aire forzado (-50°C, 5.7 m/s) Almacenamiento: -18°C	Olores desagradables	Sólidos solubles Azúcares individuales Sensoriales	Jarabe al 40% Azúcar: 1:4
Plátano	Firmeza: 1.24kg Relación pulpa cáscara: 1.3 Cáscara: 70% verde, 30% amarilla Enana	Puré Puré concentrado con o sin bolsa de semillas IQF: cubos, rebanadas Mezclas Rebanadas con azúcar	Puré: tratamiento térmico medio Mezcla de antioxidantes y estabilizantes Escaldado	Descongelación: baño de agua	Oscurecimiento	Contenido individual de azúcares Sólidos solubles Vitaminas	Bisulfito de sodio Ácido cítrico Sorbato de potasio Gomas Azúcar

Fruta	Materia Prima	Productos	Pretratamiento	Métodos Recomendados	Problemas	Propiedades Evaluadas	Aditivos
Papaya	Madurez Femenina Roja	Puré Rebanadas IQF y en jarabe	Puré: calentamiento, machacado, acidificación, enfriamiento	Puré (congelación -13°C, almacenamiento -23°C) Descongelación: microondas	Olores desagradables Modificación de color Pérdida de peso Exudado Pérdida de vitamina C	Pérdida de peso por goteo Sólidos solubles Azúcares individuales Proteína Vitaminas Actividad enzimática Textura Exudado	Jarabe de sacarosa Pectina
Pera	Williams Christ clapps Gellerts butlers Bosc		Escaldado (solución de sacarosa)	Congelación rápida + descongelación rápida (microondas)	Pérdida de firmeza		
Zarzamora	Madurez Kotata Manona Ranui Waldo	Puré IQF Con jarabe		Inmersión N ₂ Placas -50°C Descongelación rápida	Pérdida de color Pérdida de peso Pérdida de firmeza	Sabor Pérdida de peso Color Textura Antocianinas Calcio	Jarabe al 50% Azúcar: 3:2
Aguacate	Hass	Salsa Guacamole Puré Mitades	Preenfriamiento (5°C/24h) Maduración (20-22°C/5días, HR 85-90%) Enfriamiento 5°C Atmósfera de N ₂	Rápida Descongelación: refrigeración (24-48h)	Rancidez Oscurecimiento Decoloración		Ácido ascórbico Ácido cítrico Gomas NaCl

Fruta	Materia Prima	Productos	Pretratamiento	Métodos Recomendados	Problemas	Propiedades Evaluadas	Aditivos
Cirueta	Nubiana Ciruela pasa	Mitades con jarabe	Deshuesado	Rápida Criomecánico: inmersión N ₂ + lecho fluidizado	Oscurecimiento Pérdida de peso	Sabor Color Aroma Pérdida de peso	Jarabe
Chabacano		Mitades en jarabe o azúcar	Deshuesado Inmersión en ácido ascórbico Escaldado	Aire forzado por bandas Almacenamiento: -29°C	Oscurecimiento Pérdida de vitamina C	Vitamina C Pérdida de peso por goteo	Azúcar: 3:1, 4:1 Ácido ascórbico
Frambuesa		Puré con y sin semilla Jarabe	Puré: pasteurización (88°C/1.5-2min), enfriamiento (15-21°C)	Bayas	Pérdida de color Pérdida de variedades	Color Firmeza pH Sólidos solubles Acidez Aroma	Jarabe: 50% Azúcar: 3:2
Arándano		Obtención de jugo		Descongelación en oscuridad	Pérdida de vitamina C	Pigmentos Rendimiento Contenido de jugo Vitamina C	
Mora azul	Burlington	Puré IQF		Rápido Criomecánico: inmersión N ₂ + lecho fluidizado	Oscurecimiento de la superficie Cambio de color	Color Pigmentos Textura Pérdida de peso	

Fruta	Materia Prima	Productos	Pretratamiento	Métodos Recomendados	Problemas	Propiedades Evaluadas	Aditivos
Chirimoya		Puré Pulpa	Pasteurización (75°C/10min) + ácido ascórbico + ácido cítrico Ácido ascórbico + ácido cítrico con o sin NaCl	Aire forzado	Oscurecimiento enzimático Detrimento de calidad sensorial (pasteurización)	Color	Ácido ascórbico (2g/kg) Ácido cítrico (2g/kg)
Cítricos		Gajos			Amargura	Vitamina C	
Tomate	Completa madurez	Machacado Puré Salsa Pasta			Pérdida de turgencia Pérdida de textura Olor desagradable Pérdida de color Pérdida de vitamina C	Color Sólidos solubles Vitaminas PH Acidez Nitrógeno Materia seca	
Melón	Firmeza que permita el corte Cantaloupe	Cubos o bolas IQF y en jarabe		Criomecánico: inmersión N ₂ + lecho fluidizado	Pérdida de textura	Vitamina C	Jarabe
Guayaba		Puré	Pasteurización(85-88°C/24s)		Olores indeseables Detrimento calidad sensorial	Sabor (volátiles)	
Chile	Jalapeño		Escaldado (55°C)			Textura Color	

Fruta	Materia Prima	Productos	Pretratamiento	Métodos Recomendados	Problemas	Propiedades Evaluadas	Aditivos
Zapote		Segmentos en jarabe	Cortado y desemillado				Jarabe:20-30°Brix Ácido ascórbico: 0.2% Ácido cítrico: 0.2%
Pérsimo				Indistinto N ₂ Cámara		Taninos	
Fruta de la pasión Pacana		Pulpa Nieve		Congelador de superficie rasposa Congelación rápida + descongelación lenta	Pérdida de sabor	Textura	
Coco Higo		Tiras Entero y rebanadas en jarabe		Rápido		β-caroteno	Jarabe
Fruto del árbol del pan Dátil			Pelado, rebanado, precocido			Color Sabor	
Tuna		Puré sin semilla			Pérdida de humedad		