



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA**

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Efectos de la congelación y ultracongelación en la estructura y textura de frutas y vegetales: Una revisión bibliográfica de datos publicados

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

Autora: Alvarez Beltrán Tania Maribel

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

Ambato - Ecuador

Septiembre – 2021

APROBACIÓN DE LA TUTORA

Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

CERTIFICA:

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

Ambato, 30 de julio del 2021

Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

C.I.: 1804067088

TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Tania Maribel Alvarez Beltrán, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a yellow rectangular box. The signature is stylized and appears to read 'Tania Alvarez'.

Tania Maribel Alvarez Beltrán

C.C. 0504035767

AUTORA

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

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

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal

Ing. Santiago Esmiro Cadena Carrera PhD

C.I. 1715602593

Esteban Mauricio Fuentes Pérez PhD

C.I. 1803321502

Ambato, 27 de agosto del 2021

DERECHOS DE AUTOR

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

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

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a yellow rectangular box. The signature is stylized and appears to read 'Tania Alvarez'.

Tania Maribel Alvarez Beltrán

C.I.: 0504035767

AUTORA

DEDICATORIA

A mi padre Heriberto, quien me ha acompañado en cada momento de mi vida, ya sean estos buenos o malos, siempre ha estado ahí para mí, para cuidarme, aconsejarme y apoyarme.

A mi madre, Martha, quien depositó su confianza en mí, gracias a su esfuerzo y sacrificio he logrado cumplir mi tan anhelado sueño de culminar mi carrera universitaria.

A mi hija Lilia Paola, por ser el motor de mi vida, por ser tan comprensiva y paciente, por entender a pesar de su corta edad que mamá tuvo que ausentarse para estudiar.

Tania

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por el amor y apoyo incondicional durante mi carrera universitaria, por apoyarme en cada una de mis decisiones, por no haberme dejado sola a pesar de las dificultades presentadas. Por cada uno de los sacrificios que han realizado a favor de mi bienestar.

A mis hermanos Gladys, Franklin, José y Jessica, por todo el apoyo brindado.

A mi esposo Josué, por la paciencia, el amor y la dedicación durante estos 5 años de carrera, por acompañarme en las noches de desvelo haciendo tareas, por cuidar de nuestra hija mientras yo asistía a clases. Gracias por nunca dejarme sola.

A mis mejores amigos Allison, Andrés y Darwin, por su amistad, apoyo y complicidad. Fue grato coincidir con ustedes en esta etapa de nuestras vidas, tan bonita y complicada a la vez.

A la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, mi segundo hogar por 5 años. A los docentes, quienes fueron los encargados de mi formación profesional. Y de manera especial a mi tutora, Ing. M.Sc. Liliana Acurio, por su confianza, paciencia y colaboración durante el desarrollo del trabajo de titulación.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

1.1.1. Aprobación de la tutora	ii
CAPÍTULO I.....	14
MARCO TEÓRICO.....	14
1.2. Antecedentes investigativos.....	14
1.2.1. Justificación.....	14
1.2.2. Antecedentes	15
1.2.2.1. Congelación	16
1.2.2.2. Parámetros de congelación	16
1.2.2.3. Ultracongelación	17
1.2.2.4. Velocidad de congelación.....	18
1.2.2.5. Tiempo de congelación.....	19
1.2.2.6. Congelación de frutas	19
1.2.2.7. Congelación de vegetales.....	20
1.2.2.8. Aspectos para evaluar la calidad de frutas y vegetales congelados .	20
1.2.2.9. Diagrama de flujo para la congelación de frutas y vegetales	23
1.3.1. Objetivo general	25
1.3.2. Objetivos específicos	25
CAPÍTULO II.....	26
METODOLOGÍA.....	26
CAPÍTULO III	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
3.1.2.1. Tratamientos previos al proceso de congelación	29
3.1.2.2. Congelación convencional	31
3.1.2.3. Congelación de frutas por inmersión en nitrógeno líquido.....	33

3.1.2.4. Congelación criogénica de frutas	35
3.1.2.5. Congelación de frutas asistida por tecnologías modernas.....	36
3.1.2.6. La congelación de frutas como tratamiento previo para métodos de análisis.....	38
3.1.4.1. Tratamientos previos a la congelación de vegetales	43
3.1.4.2. Congelación convencional de vegetales.....	44
3.1.4.3. Congelación criogénica de vegetales	45
3.1.4.4. La congelación de vegetales como tratamiento previo para métodos de análisis.....	45
CAPÍTULO IV.....	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
Referencias bibliográficas.....	51

Índice de tablas

Tabla 1: Resumen de los efectos de la congelación y ultracongelación en la estructura y textura de frutas.....	40
Tabla 2: Resumen de los efectos de la congelación y ultracongelación en la estructura y textura vegetales	46

Índice de figuras

Figura 1. Curva de congelación típica.....	17
Figura 2. Impacto de la velocidad de congelación en la calidad de un alimento	18
Figura 3. Ilustración de la formación de cristales de hielo en un proceso de congelación.....	19
Figura 4. Caso hipotético de la variación de temperatura durante la cadena de frío.	21
Figura 5. Diagrama de flujo para la congelación de frutas y vegetales.....	24
Figura 6. Impacto del contenido de agua en la firmeza de las muestras de membrillo deshidratadas y congeladas.....	29
Figura 7. Influencia del contenido de agua en la firmeza de las manzanas congeladas	30
Figura 8. Imagen de microscopio electrónico de barrido de la fresa congelada de manera convencional (A) y rápidamente (B), después del proceso de congelación (Mag = 60X).....	32
Figura 9. Efecto de la congelación sobre la textura de la mora en estado verde (A) y maduro (B).....	33
Figura 10: Curva de congelación de arándanos a diferente temperatura (-20,-40,-80 °C) y en nitrógeno líquido LN2	34
Figura 11: Tiempo y temperatura de congelación del arándano	35
Figura 12: Perfil de temperatura de Fresas chinas (Myrica Rubra) congeladas	36
Figura 13: Primer pico de fuerza medio (FP1) y fuerza de punción máxima media (F_{max}) en muestras frescas y muestras tratadas mediante congelación rápida (CR) y congelación lenta con aplicación de ultrasonidos a diferentes potencias (CL0, CL50, CL100, CL120 y CL150)	38
Figura 14: Curva de congelación del tomate.....	44

RESUMEN

Actualmente, la congelación se ha convertido en uno de los métodos de preservación más utilizado para frutas y vegetales, al ser estas consideradas altamente perecederas, evita la proliferación microbiana prolongando el tiempo de vida útil. Sin embargo, durante el proceso de congelación se forman cristales de hielo en el interior del alimento, mismos que causan deterioro de la microestructura celular, afectando directamente a la calidad del producto. La presente investigación tiene como objetivo dar a conocer los cambios en la estructura y textura de frutas y vegetales congelados y ultracongelados. Se realizó en base a la búsqueda bibliográfica en fuentes secundarias de investigaciones realizadas a nivel mundial, a partir de los cuales se establece que la eficacia de un método de congelación depende de diferentes condiciones de proceso, principalmente de la velocidad y temperatura de congelación. Así también depende de otros factores tales como: la especie, el tratamiento que haya recibido el alimento previo a la congelación, mismo que se discute mediante la comparación de diferentes frutas y vegetales, sometidos a procesos similares. Finalmente se dedujo que en Ecuador existe una carencia de estudios investigativos sobre los efectos que produce un proceso de congelación en la estructura y textura de vegetales producidos en la localidad, aspecto negativo considerando que es un país que cuenta con las condiciones climáticas para producir gran variedad de este tipo de alimentos, por lo cual se sugiere que futuras investigaciones se enfoquen en el tema anteriormente mencionado.

Palabras claves: Investigación bibliográfica, industria alimentaria, congelación de alimentos, ultracongelación de alimentos, conservación de frutas, conservación de vegetales, propiedades organolépticas.

ABSTRACT

Currently, freezing has become one of the most widely used preservation methods for fruits and vegetables, as these are considered highly perishable, avoiding microbial proliferation and extending shelf life. However, during the freezing process, ice crystals are formed inside the food, which cause deterioration of the cellular microstructure, directly affecting the quality of the product. The objective of this research is to report the changes in the structure and texture of frozen and deep-frozen fruits and vegetables. It was carried out based on a bibliographic search in secondary sources of research conducted worldwide, from which it is established that the effectiveness of a freezing method depends on different process conditions, mainly on the freezing speed and temperature. It also depends on other factors such as: the species, the treatment that the food has received prior to freezing, which is discussed by comparing different fruits and vegetables, subjected to similar processes. Finally, it was deduced that in Ecuador there is a lack of research studies on the effects produced by a freezing process on the structure and texture of locally produced vegetables, a negative aspect considering that it is a country that has the climatic conditions to produce a great variety of this type of food, for which reason it is suggested that future research should focus on the aforementioned subject.

Keywords: Bibliographic research, food industry, food freezing, deep freezing of food, fruit preservation, vegetable preservation, organoleptic properties.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Justificación

Las frutas y vegetales son alimentos primordiales en la dieta diaria del ser humano debido a su aporte nutricional. Al considerarse alimentos altamente perecederos, requieren un proceso de conservación para alargar su tiempo de vida útil. Es ahí en donde intervienen procesos como la congelación y ultracongelación (**Aschemacher, 2017**).

La congelación es uno de los métodos de conservación más utilizados en la industria alimentaria. **Cabrera (2019)**, define a dicha operación como un proceso de preservación, el cual actúa mediante la reducción de la temperatura del alimento, hasta un valor por debajo del cual empiezan a formarse cristales de hielo. Si bien es cierto que este proceso no destruye microorganismos, los inhibe, incrementando el tiempo de vida útil del producto (**Gramajo, 2019**). Sin embargo, posterior a dicho proceso, ciertos aspectos fisicoquímicos y sensoriales del alimento, se ven afectados negativamente, entre éstos tenemos la estructura y textura.

La ultracongelación garantiza la formación de cristales pequeños dentro de la estructura celular del producto, manteniendo en gran cantidad sus cualidades originales (**R. García et al., 2017**). Lo contrario sucede con la congelación lenta, proceso en el que se forman grandes cristales de hielo, debido a la reducción de la temperatura a una velocidad lo suficientemente lenta como para lograr una mayor aglomeración de agua; este proceso provoca un alto porcentaje de rompimiento de la estructura celular (**Garda, 2020**).

Por ende, el estudio de los efectos generados en la estructura y textura de estos alimentos, durante la congelación y ultracongelación resulta necesario, puesto que la

mayoría de los productores y consumidores desconocen el proceso adecuado para conservar a bajas temperaturas una fruta y/o vegetal. De acuerdo con **Tan et al. (2020)**, el proceso de congelación puede alterar directamente a la calidad de la fruta, pero en la mayoría de las ocasiones este proceso resulta ser la mejor opción para su almacenamiento. Al tratarse de alimentos altamente consumidos a nivel mundial, el análisis de estas alteraciones se convierte en un parámetro previo a su comercialización y/o consumo (**Zhang et al., 2020**).

Y se justifica más aún el presente estudio, al tomar en cuenta que permitirá generar un documento para que los consumidores conozcan el papel importante que dichos procesos de preservación conllevan en las frutas y vegetales, debido a que, si se congelan y descongelan varias veces en un refrigerador casero, se rompe la cadena de frío y a su vez genera deterioro en su calidad textural.

Bajo el contexto previamente planteado, es evidente que un trabajo que reúna toda la información relevante acerca del tema, en un solo documento, generará la posibilidad de utilizar dicha información en pro de la industria alimentaria y los consumidores, así como también en beneficio de futuros proyectos de vinculación, investigación y titulación.

1.1.2. Antecedentes

La conservación de alimentos es un proceso que se desarrolla desde la antigüedad, en algunos casos los procesos utilizados no garantizaban la calidad del producto, a diferencia de la tecnología actual que permite minimizar los daños en la materia prima. **Córdova (2018)**, menciona que en el siglo XIX se utilizaba como método de preservación de las frutas, la desecación y en el caso de los vegetales se almacenaban en vinagre, aceite o alcohol; algunos tubérculos, como nabos y zanahorias, eran enterrados con el fin de conservarlos por más tiempo. Evidentemente los mencionados procesos no conservaban intactas las características originales del alimento y de las propiedades organolépticas la más afectada era la textura.

Por otra parte, **Busch (2016)**, menciona que es responsabilidad del productor y comercializador mantener un alimento almacenado adecuadamente y libre de

contaminación. Sin embargo, el consumidor también juega un papel importante pues es responsable de comprar alimentos que cumplan con los estándares de calidad, especialmente si se trata de productos perecederos como frutas y vegetales.

De acuerdo con **Liu et al. (2020)**, el proceso de conservación de frutas y vegetales a bajas temperaturas no cuenta con los estudios suficientes que satisfagan la incertidumbre sobre los efectos que este tipo de procesos generan en los alimentos tratados, así como también sobre la combinación de tecnologías que permitan que el estado de frutas y vegetales permanezca intacto posterior a un proceso de congelación.

1.1.2.1. Congelación

Bilbao et al. (2019), define a la congelación como el proceso de preservación de alimentos más común, debido a que reduce la tasa de deterioro del alimento deteniendo el crecimiento de microorganismos, reduciendo las reacciones de deterioro que ocurren en la matriz alimenticia y prolongando así el tiempo de vida útil del alimento. De acuerdo con **Delgado y Jesus (2015)**, la tecnología de congelación es aplicada a alimentos que van a ser comercializados o consumidos a largo plazo, para consumo a corto plazo es suficiente la refrigeración.

1.1.2.2. Parámetros de congelación

a. Preenfriamiento

Consiste en la disminución de la temperatura del alimento hasta el valor en el que inicia el cambio de fase (**Dincer & Kanoglu, 2017**).

b. Nucleación

En este proceso los átomos que se encuentran en fase líquida se agrupan formando un núcleo, que a pesar de ser pequeño es muy estable. Es dependiente del grado de sobre enfriamiento, pues mientras el grado de sobre enfriamiento sea mayor la tasa de nucleación también incrementará y viceversa (**Khudyakov et al., 2018**). La temperatura de nucleación es la más baja que alcanza el alimento durante el enfriamiento, sin que se produzca aún la congelación (**Comandini et al., 2013**).

c. Etapa de cambio de fase

En esta etapa del proceso el agua contenida en el interior del alimento se transforma de líquido a sólido, formando cristales de hielo. Inicia en el punto de congelación del alimento, y continúa hasta que en su interior alcance una temperatura de -5°C con relación a dicho punto (Dincer & Kanoglu, 2017).

d. Super enfriamiento

Se denomina así el descenso de temperatura por debajo del punto de congelación alcanzado durante el enfriamiento.

e. Fase de templado

En esta etapa el alimento es enfriado hasta la temperatura en la cual será almacenado, generalmente -18°C (Dincer & Kanoglu, 2017).

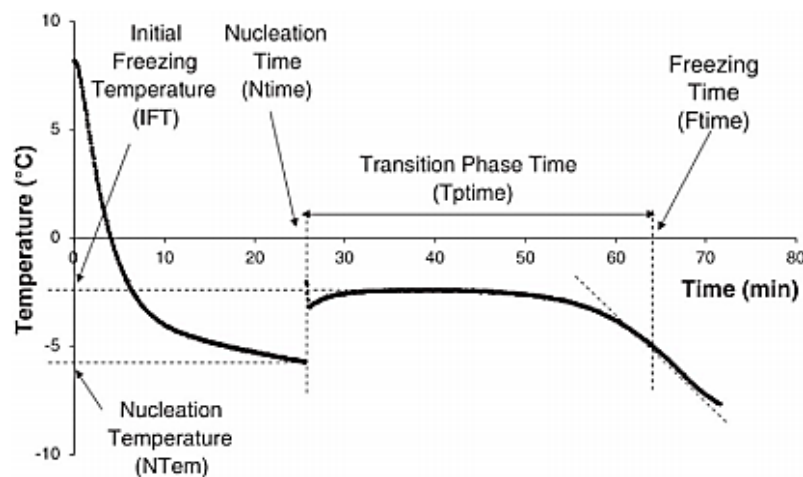


Figura 1. Curva de congelación típica

Fuente: Comandini et al. (2013)

En la Figura 1 se pueden observar las etapas de congelación, así como la fase de super enfriamiento (sin formación de cristales) entre la temperatura inicial de congelación y la de nucleación.

1.1.2.3. Ultracongelación

Según Quintero y Bonilla (2019), la congelación rápida o ultracongelación, es un proceso en el que el alimento es sometido a un enfriamiento brusco, hasta alcanzar la temperatura de cristalización en un tiempo menor a 2 horas y se considera que finaliza

cuando el alimento consigue los -18°C en el centro térmico, utilizando un medio refrigerante que se encuentra a una temperatura menor a los -40°C . Es una técnica innovadora porque permite la optimización del proceso, preservando las características organolépticas (mayoritariamente la textura), debido a que la estructura celular no es afectada por el tamaño pequeño de los cristales de hielo que se forman en los espacios intercelulares (R. García et al., 2017). El adecuado funcionamiento de este proceso garantizará mantener la calidad del producto (M. Fernández, 2017).

1.1.2.4. Velocidad de congelación

La calidad de frutas y vegetales congelados depende de la velocidad con la que se realiza el cambio de temperatura, puesto que un cambio rápido garantiza la preservación de su estructura original (Jiménez, 2019).

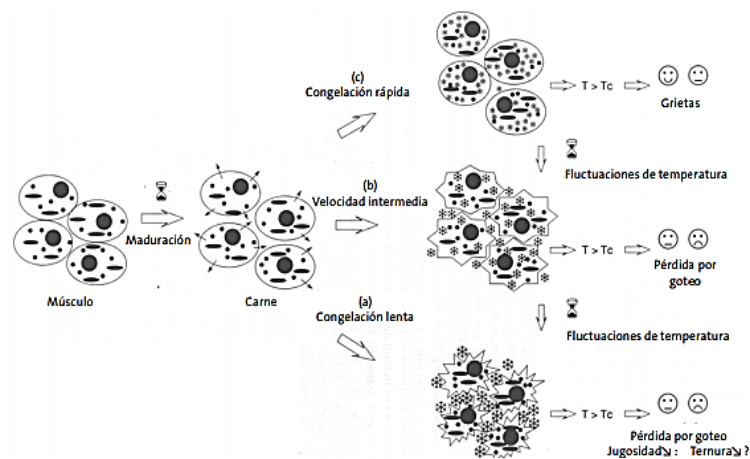


Figura 2. Impacto de la velocidad de congelación en la calidad de un alimento

Fuente: Agoulon (2012)

En un proceso de congelación lenta, se forman pocos núcleos y por lo tanto cristales de gran tamaño, mientras que en la congelación rápida o ultracongelación se forman muchos núcleos con cristales pequeños. Lo descrito anteriormente se puede evidenciar en las Figuras 2 y 3.

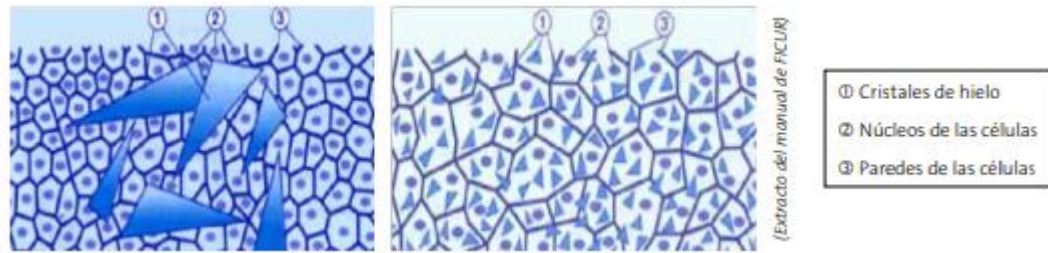


Figura 3. Ilustración de la formación de cristales de hielo en un proceso de congelación

Fuente: Agoulon (2012)

1.1.2.5. Tiempo de congelación

Chaves y Zaritzky (2018), definen al tiempo de congelación como el valor que requiere un alimento para descender su temperatura hasta una cuantía deseada, la cual debe ser óptima para preservar dependiendo de cada tipo de alimento. Este tiempo dependerá de diversos factores como por ejemplo el tipo y forma de alimento, la temperatura inicial y final, el sistema de congelación, entre otros.

1.1.2.6. Congelación de frutas

El propósito con el cual una fruta es sometida al proceso de congelación es preservar su calidad, mayoritariamente se aplica a frutas de textura delicada y susceptibles al manejo y transporte, con el firme propósito de evitar pérdidas físicas y de calidad después de su recolección (**Veberic et al., 2014**).

La congelación de las frutas se ha convertido en una de las tecnologías más favorables en la industria alimentaria, debido a que gracias a este proceso se puede almacenar frutas de temporada, para que su tiempo de consumo sea prolongado. Además, permite la comercialización en mercados internacionales, a los cuales obviamente no se puede enviar la fruta en estado natural.

Según **Neri et al. (2020)**, las frutas que se congelan a escala industrial están destinadas en mayor porcentaje para la elaboración de conservas, zumos, postres, entre otros, debido a que posterior a la descongelación la estructura y textura de la fruta se ve altamente afectada debido a la pérdida por goteo, ablandamiento y pardeamiento.

1.1.2.7. Congelación de vegetales

Según **M. García (2016)**, los vegetales son parte fundamental de la alimentación humana, por lo cual deben ser preservados adecuadamente para que conserven sus cualidades nutricionales tales como: vitaminas, minerales, fibra, agua, entre otros.

Los productos vegetales requieren de mucha cautela al momento de la congelación debido a su estructura, organización celular y la cantidad de agua contenida en los espacios intracelulares. Al considerarse altamente perecederos requieren ser tratados óptimamente durante el proceso de congelación para garantizar su calidad.

Neri et al. (2020), mencionan que, debido a la diferencia de presión osmótica, durante la congelación se genera la migración de agua no congelada a la parte congelada de la célula, provocando la formación de cristales de mayor tamaño, y con esto daño en la estructura celular. Estos periodos se generan principalmente por un inadecuado manejo del proceso de congelación, pues las condiciones de proceso como la velocidad, temperatura, ciclos de congelación y estado de la materia prima, son los principales responsables de este tipo de acontecimientos.

1.1.2.8. Aspectos para evaluar la calidad de frutas y vegetales congelados

Daño mecánico por cristalización de agua

Este tipo de daño depende de diversos aspectos como la velocidad y temperatura de congelación, la recristalización y el manejo de la cadena de frío.

La formación de cristales de hielo se lleva a cabo en los espacios extracelulares y en las soluciones acuosas internas de la célula vegetal. El tamaño de los cristales de hielo depende principalmente de la velocidad con la que se lleva a cabo la congelación. Si el alimento se congela a una velocidad relativamente lenta, en congeladores convencionales, el movimiento del agua tarda más tiempo, lo cual genera que se congele el agua de la zona exterior, formando grandes cristales de hielo, lo cual genera el rompimiento de la pared celular y una deshidratación severa de las células, afectando directamente a la estructura y textura (**Alabi et al., 2020**).

Una vez congelada, la fruta o vegetal, debe mantenerse a una temperatura inferior a los -18°C , evitando oscilaciones térmicas tanto en el almacenamiento, distribución o transporte, para evitar que se lleve a cabo un proceso de recristalización, ya que esto afectará directamente a la estructura de los tejidos del alimento. Lo anteriormente mencionado hace referencia a la conservación de la cadena de frío, aspecto muy importante para garantizar la calidad del producto congelado desde su producción hasta el consumo (De Michelis & Ohaco, 2015).

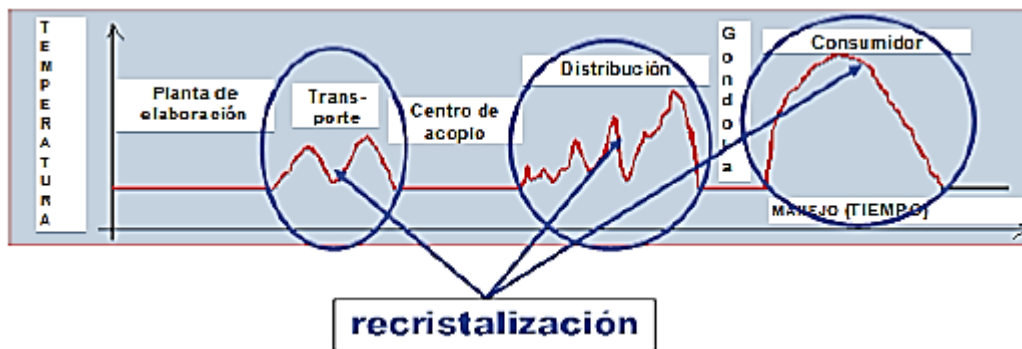


Figura 4. Caso hipotético de la variación de temperatura durante la cadena de frío.

Fuente: De Michelis y Ohaco (2015).

Como se puede observar en la Figura 4, existen oscilaciones térmicas durante el transporte, distribución y el manejo del consumidor. La etapa con mayores oscilaciones es durante el proceso de distribución, por lo que requiere mayor verificación al depender de ésta la calidad de la fruta o vegetal.

Descongelación

De acuerdo con **Muthukumarappan et al. (2018)**, esta etapa es indispensable para garantizar la calidad del alimento. Se caracteriza por ser más lenta que el proceso de congelación, debido a que el proceso de transferencia de calor se realiza a través de una capa con alto contenido de agua (conductividad térmica igual a $0,58 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$, valor bajo frente a la conductividad térmica del hielo igual a $1,6 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$) (**Barreiro & Sandoval, 2006**). Además, en esta etapa el alimento se encuentra expuesto a daños por contaminación microbiana, al ser la parte superficial la primera en descongelarse, y la textura es afectada notablemente por la pérdida de las soluciones acuosas propias del alimento.

Para evitar este tipo de deterioro es recomendable la cocción directa del alimento sin una descongelación previa, con esto se evitaría una deshidratación excesiva del alimento; sin embargo, esta metodología es posible simplemente en vegetales y frutas destinadas a procesos industriales. De todas formas se sugiere que las frutas y vegetales destinados para consumo directo deben ser descongeladas en el menor tiempo posible **(De Michelis & Ohaco, 2015)**.

Textura

N. Fernández et al. (2017), definen a la textura como uno de los principales parámetros organolépticos evaluados por el consumidor en frutas y vegetales, puesto que éste garantiza la frescura y el correcto almacenamiento. La congelación afecta principalmente a la textura debido a los cristales formados de manera extracelular, lo que ocasiona la pérdida de líquido durante la descongelación y consecuentemente el deterioro de dicha cualidad.

Esta característica está relacionada directamente con la calidad estructural del alimento, en el caso de productos de origen vegetal este parámetro organoléptico se ve afectado debido a la turgencia de las fibras vegetales, siendo la pérdida de firmeza la principal consecuencia de un mal manejo del proceso de preservación **(De Michelis & Ohaco, 2015)**.

Los parámetros de análisis del perfil de textura más comunes que se evalúan en este tipo de alimentos son: adhesividad, cohesividad, dureza, fracturabilidad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad **(González et al., 2015)**.

Pardeamientos enzimáticos “escaldado o blanqueo”

Los procesos tales como el escaldado o el blanqueado son utilizados como tratamientos térmicos de inactivación enzimática, previo a un proceso de congelación o ultracongelación. A su vez el escaldado ayuda a prevenir la oxidación de grasas o lípidos, los cuales, a pesar de encontrarse en pequeñas cantidades en frutas y vegetales, pueden causar daños organolépticos.

En el caso de frutas con finalidades específicas como por ejemplo las frutas que serán empleadas para la elaboración de postres, la inactivación enzimática se

realiza mediante la adición de reductores químicos, todo esto con la finalidad de preservar las cualidades organolépticas **(De Michelis & Ohaco, 2015)**.

Microorganismos

La cantidad de microorganismos es relativamente baja debido a que a temperaturas de congelación éstos se inactivan tanto en frutas como vegetales, siempre y cuando el tratamiento previo a la congelación se haya llevado a cabo de la manera correcta.

Valor nutritivo

Un adecuado proceso de congelación no destruye las cualidades nutricionales de frutas y vegetales. Sin embargo, se ha observado una pérdida de vitamina C en hortalizas durante el escaldado previo a la congelación **(De Michelis & Ohaco, 2015)**.

1.1.2.9. Diagrama de flujo para la congelación de frutas y vegetales

En la Figura 5 se puede apreciar el proceso de congelación que deben seguir frutas y vegetales para que resulte óptimo. En ambos casos se inicia con operaciones básicas de verificación de la calidad de la materia prima.

En el caso de las frutas, al ser en cierto porcentaje consumidas directamente, no se puede realizar un proceso térmico previo a la congelación, por lo cual se opta por inmersión en soluciones químicas. Por otra parte, los vegetales si pueden ser sometidos a tratamientos térmicos previos. De ser necesario se realiza un envasado antes de congelar la fruta o vegetal; sin embargo, esto dependerá del tipo de alimento.

El proceso de congelación recomienda alcanzar una temperatura de -35°C y ciertos tipos de congelación, de acuerdo con la fruta o vegetal en cuestión. En el caso de los vegetales, posterior a la congelación, éstos son embalados, dependiendo el tipo y funcionalidad de cada uno. Finalmente, tanto frutas y vegetales son almacenados en congelación.

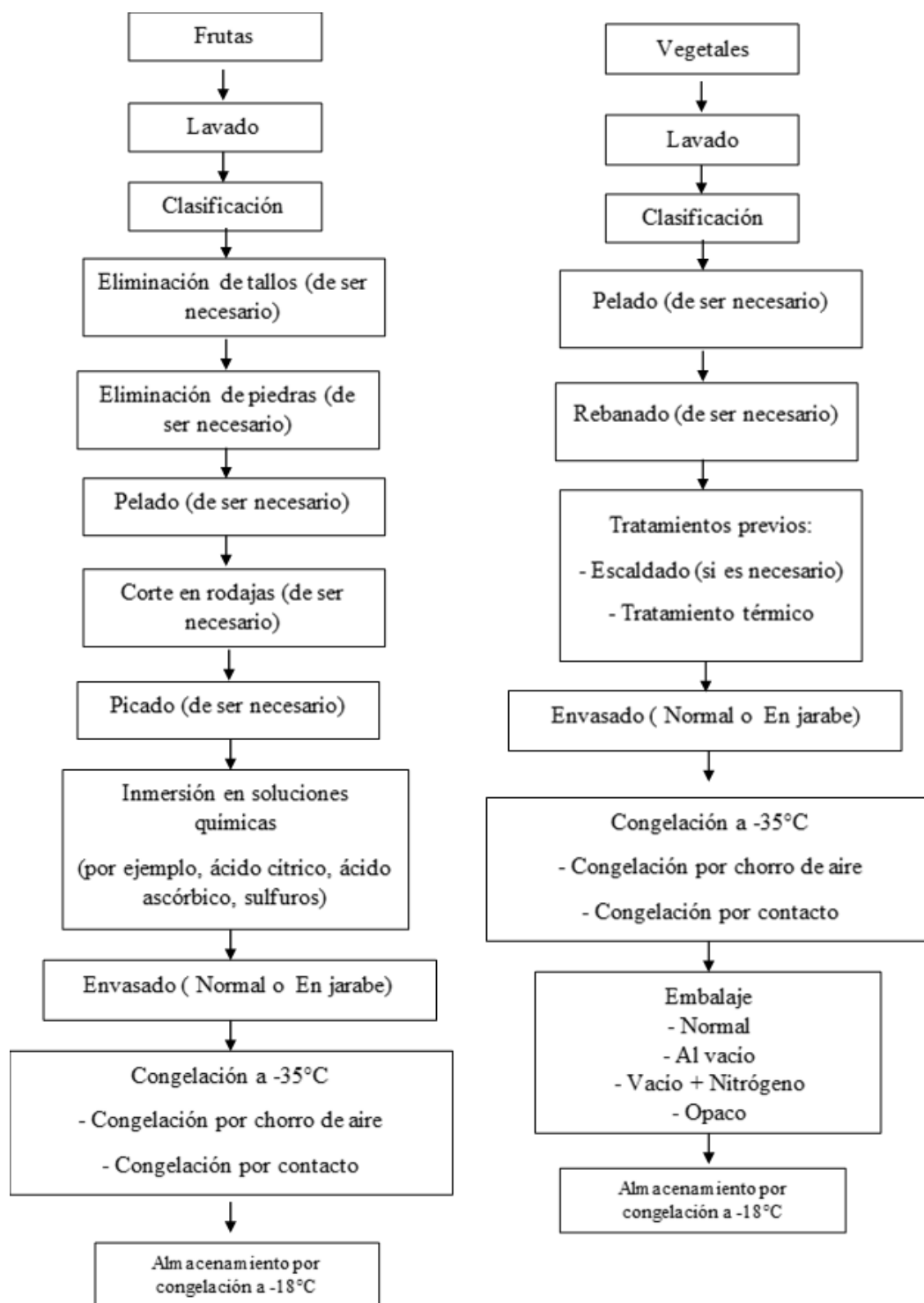


Figura 5. Diagrama de flujo para la congelación de frutas y vegetales

Fuente: Dincer y Kanoglu (2017)

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Describir los efectos de la congelación y ultracongelación en la estructura y textura de frutas y vegetales, a partir de datos publicados.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar bibliográficamente los cambios en la estructura y textura de frutas y vegetales observados posterior a un proceso de congelación y ultracongelación.
- Determinar la incidencia de las condiciones de proceso empleados en la congelación y ultracongelación, sobre la estructura y textura de frutas y vegetales.
- Sugerir aspectos o temas de investigación respecto a la variación de la estructura y textura de alimentos congelados y ultracongelados.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Al tratarse de una revisión bibliográfica, los materiales utilizados fueron netamente digitales, como:

- Computador
- Internet
- Bibliotecas virtuales de la Universidad Técnica de Ambato (Scopus, Wiley Online Library, Pro – Quest, Ebook Central, entre otras).
- Bibliotecas virtuales de acceso libre (SciELO, Latindex y Google Scholar).
- Gestor de referencias bibliográficas Mendeley.

2.2. Métodos

2.2.1. Definición del problema

El problema en el que se basó la presente investigación es en el aspecto de que existen escasos documentos que engloben información sobre los efectos de la congelación y ultracongelación en la estructura y textura de frutas y vegetales. Dicha información es de gran importancia para los productores y consumidores, su conocimiento contribuirá a un adecuado manejo de los parámetros más importantes durante la congelación y ultracongelación, para así evitar la pérdida y deterioro de su calidad estructural y textural.

2.2.2. Búsqueda de la información

La información necesaria para el desarrollo de la investigación se obtuvo de fuentes secundarias. Entre las bases de datos utilizadas se encuentran las disponibles a través

del sistema integrado de la Universidad Técnica de Ambato, tales como: Scopus, Wiley Online Library, Pro – Quest, Ebook Central, entre otros.

De éstas se extrajeron artículos y capítulos de libros relacionados con la congelación y ultracongelación de frutas y vegetales. A la vez también se utilizaron plataformas digitales de acceso libre como SciELO, Latindex y Google Scholar, de las que también se obtuvo información relevante.

Con el fin de garantizar mayor veracidad de los datos obtenidos, se utilizaron publicaciones realizadas a nivel mundial, de las que un 80% corresponden a publicaciones realizadas durante los últimos cinco años.

2.2.3. Organización de la información

La información obtenida fue organizada de manera sistemática, tomando como referencia la importancia y relevancia que contiene; es decir, basándose en el número de citas que tiene el artículo o capítulo analizado. En base a los criterios a investigar, para la organización de dicha información se utilizó el programa Mendeley, el que permite manejar las referencias bibliográficas agrupando y priorizando la información acorde a las necesidades investigativas, que fueron los efectos producidos por el proceso de congelación y ultracongelación en frutas y vegetales, juntamente con los diversos factores que intervienen en dicho proceso.

2.2.4. Análisis de información

Se realizó un análisis cualitativo y cuantitativo de toda la información recolectada, para plantear las ideas que fundamentaron los efectos producidos por la congelación y ultracongelación en los alimentos estudiados. Dicha información fue clasificada de acuerdo con el tipo de alimento y condiciones de proceso, lo que permitió delimitar la influencia de dichos procesos en cada uno de los alimentos tratados.

La veracidad de la información planteada en la presente investigación se denotó por las referencias bibliográficas citadas. Y a su vez en base a dicha información se determinaron los aspectos que aún no han sido investigados y que tienen gran relevancia durante un proceso de conservación.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

3.1.1. Importancia de la congelación

El deterioro de la textura de las frutas está estrechamente relacionado con los daños causados en la estructura celular del alimento, dicho parámetro resulta mayormente afectado por un inadecuado manejo del proceso de congelación; es decir, si el mismo alimento se congela y descongela varias veces previo a su consumo.

Así lo manifiestan **Phothiset y Charoenrein (2014)**, quienes corroboraron lo anteriormente mencionado al analizar el comportamiento de papaya con varios ciclos de congelación y descongelación, aseverando que a mayor cantidad de ciclos, mayor es la pérdida por goteo y menor la firmeza de la fruta, debido a que la estructura celular se deteriora.

Bonat Celli et al. (2016), mencionan que la textura, acompañada del color, sabor y valor nutricional, son los principales parámetros que un consumidor toma en cuenta previo a la adquisición de una fruta o vegetal.

Actualmente se han desarrollado modelos de simulación que describen los fenómenos de cristalización, con el propósito de controlar la formación de cristales generados en el interior del alimento por un proceso de congelación, lo cual aportará ventajosamente a la conservación de la calidad estructural de la fruta o vegetal. **López et al. (2016)**, realizaron una investigación desarrollando dicho modelo y llegaron a la conclusión de que cuando en producto contiene mayor fracción de aire, como resultado de su formulación, mayor es el tamaño de los cristales de hielo formados.

3.1.2. Congelación de frutas

3.1.2.1. Tratamientos previos al proceso de congelación

Desde hace muchos años los cambios estructurales y texturales en una fruta, debido a la congelación, han sido un problema para la industria alimentaria, por su incidencia en la calidad del alimento. Se han analizado diversos tratamientos previos que garanticen una destrucción insignificante en la estructura celular del producto; sin embargo, la calidad final del producto depende directamente del cuidado con el que se trate la fruta desde el inicio de la cadena de producción. **Van der Sman (2020)**, recomienda optimizar la cadena de producción y combinar procesos previos al proceso de congelación, como el escaldado y deshidratación en el caso de vegetales y para las frutas tratamientos de deshidratación osmótica y congelación por inmersión.

La variación en la textura de la fruta no depende únicamente de la velocidad de la congelación, la cantidad de agua contenida en las frutas es un aspecto muy importante dentro del proceso de congelación, pues la textura de la fruta dependerá de esto. **Hajji et al. (2018)**, realizaron un estudio sobre la influencia de la deshidrocongelación en la calidad del membrillo. En los resultados se pudo observar como las muestras con menor contenido de agua requieren mayor fuerza de ruptura de la pulpa (Figura 6), con lo que se concluye que un proceso de deshidratación previo a la congelación controla los impactos negativos que pueden degenerar la textura de la fruta.

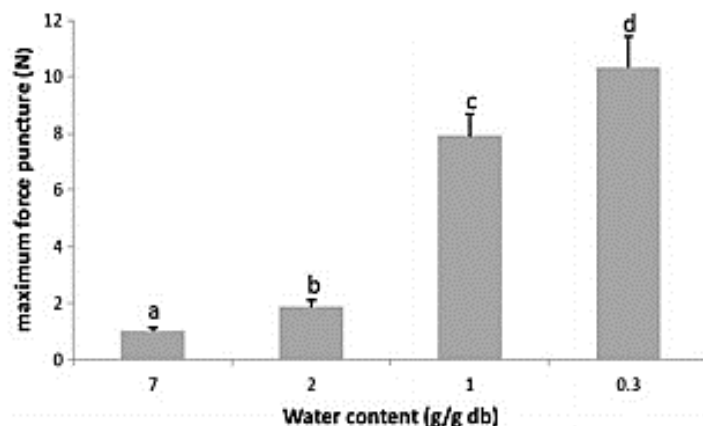


Figura 6. Impacto del contenido de agua en la firmeza de las muestras de membrillo deshidratadas y congeladas

Fuente: Hajji et al. (2018)

Ben Haj Said et al. (2015), realizaron un estudio del impacto de la deshidrocongelación en manzanas, puesto que específicamente en esta fruta la velocidad de congelación no tiene mayor influencia, posiblemente se debe al tamaño de la fruta; sin embargo, la disminución del contenido de agua en la manzana, previo a la congelación, influyó positivamente sobre la firmeza de la fruta.

En la Figura 7 se puede observar cómo el proceso de deshidratación influye positivamente en la firmeza de la manzana, pues a mayor contenido de agua, menor es la fuerza de punción. Esto quiere decir que la estructura de la fruta se mantiene gracias a que no existe agua en el interior de la fruta que pueda congelarse, y formar cristales de hielo que ocasione el deterioro estructural y textural de la fruta.

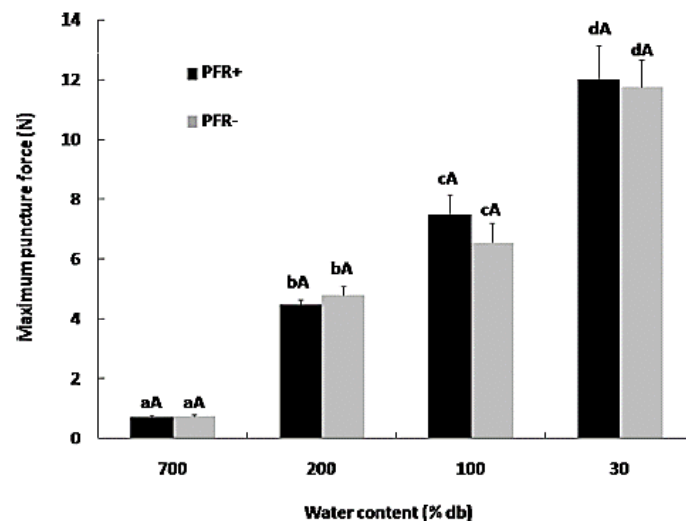


Figura 7. Influencia del contenido de agua en la firmeza de las manzanas congeladas

Fuente: Ben Haj Said et al. (2015)

Buscando ratificar la veracidad de la deshidrocongelación y estableciendo una comparación entre dos tipos de congelación la convencional y la anteriormente mencionada, **Ben Haj Said et al. (2020)**, realizaron un estudio en manzanas las cuales fueron congeladas y almacenadas por un periodo de 18 meses a -18°C , con un tratamiento previo de deshidratación, el cual aportó favorablemente a la calidad de la fruta, pues posterior al proceso de descongelación las propiedades estructurales de la manzana se mantuvieron.

Así también en la actualidad se ha optado por proceso de deshidratación osmótica. **Ayala y Sánchez (2017)**, realizaron un estudio de los efectos producidos por la congelación de papaya a -40°C . La fruta se sometió a este tipo de tratamiento previo, procedimiento que disminuyó considerablemente el daño estructural de la fruta, minimizando la pérdida por goteo y el deterioro de la textura, comparada con la fruta sin tratar. Cabe recalcar que los análisis se realizaron en frutas almacenadas de 10 a 60 días y todas presentaron características favorables.

3.1.2.2. Congelación convencional

Para este tipo de alimento a escala industrial se realiza una congelación rápida IQF (Individual Quick Freezing); sin embargo, a nivel doméstico es ampliamente utilizada la congelación convencional, a pesar de que esta no es conveniente para preservar todo tipo de frutas, debida a la velocidad con la que se lleva a cabo, se forma cristales de hielo de gran tamaño causando degradación de la integridad celular y afectación en la textura. Este es el caso de las fresas y judías verdes, las que se congelaron en un refrigerador doméstico a temperaturas de -23 y -27°C respectivamente, posterior a un almacenamiento de 90 días la fruta presentó degradación de la membrana celular y pérdida de firmeza (**Bulut et al., 2018**).

Sun et al. (2019), realizaron un estudio en naranjas de bergamota almacenadas en refrigeración y congelación a -3°C , en un sistema de almacenamiento conformado por 4 tipos de congeladores, en el cual se analizó minuciosamente cada etapa del proceso. Los resultados evidenciaron que la congelación ayudó a conservar las características de la fruta en comparación con la refrigeración; pues la dureza, estructura y textura aparentemente se preservaron de mejor manera. Sin embargo, al tratarse de un proceso de congelación doméstica, a una temperatura no adecuada, la estructura celular se afectó y por ende la calidad de las peras.

Bajo este contexto, la congelación convencional no resulta muy apropiada para conservar alimentos por largos periodos de tiempo, pero es la más utilizada por los consumidores, razón por la que **Rayman et al. (2021)**, desarrollaron un congelador para uso doméstico que cuenta con una tecnología más avanzada (-30°C a $1,51^{\circ}\text{C/h}$), que garantiza mayor velocidad en la congelación, y los resultados en la calidad son similares a los que se obtienen en un proceso de ultracongelación.

La veracidad de este equipo se comprobó mediante la congelación de fresas, las que presentaron mejores condiciones en comparación con las obtenidas en un congelador convencional, pues la estructura tisular se conservó adecuadamente debido a que se presentaron mayores zonas de nucleación, lo que garantizó la conservación de la integridad de las células isodiamétricas y membranas celulares intactas (Figura 7). Por otra parte, la misma fruta fue sometida a un proceso de congelación lenta en un congelador convencional, dicha fruta presentó un notable deterioro de su calidad estructural, pues mediante microscopía se observó la célula (Figura 7), la cual presentó una reducción de la capacidad de retención de agua, esto debido a una contracción celular y deterioro de la membrana.

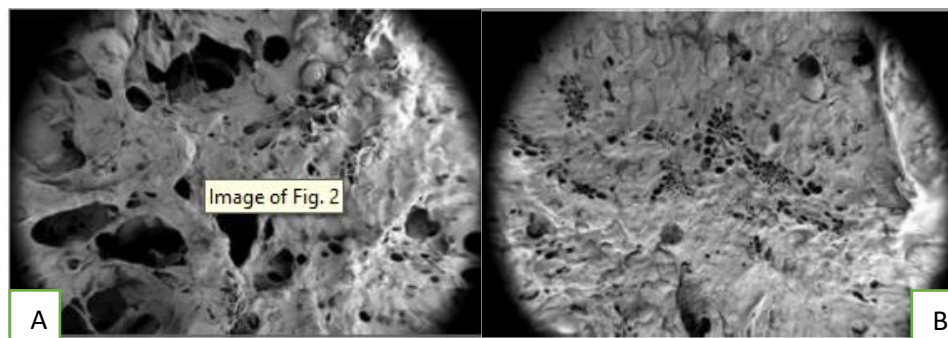


Figura 8. Imagen de microscopio electrónico de barrido de la fresa congelada de manera convencional (A) y rápidamente (B), después del proceso de congelación (Mag = 60X)

Fuente: Rayman et al. (2021)

Las moras son una fruta altamente perecedera debido principalmente a su textura delicada, por lo que requieren ser conservada en condiciones adecuadas. La congelación es la principal opción para este tipo de fruta; sin embargo, la congelación y descongelación ocasionan afecciones como pérdida de firmeza y turgencia, lo cual depende de la velocidad con la que este proceso se lleve a cabo. Así lo comprobó **N. Fernández et al. (2017)**, quienes determinaron que la fuerza de punción disminuye en las moras congeladas convencionalmente, tanto en estado verde y maduro, lo que indica que la estructura resultó afectada (Figura 9).

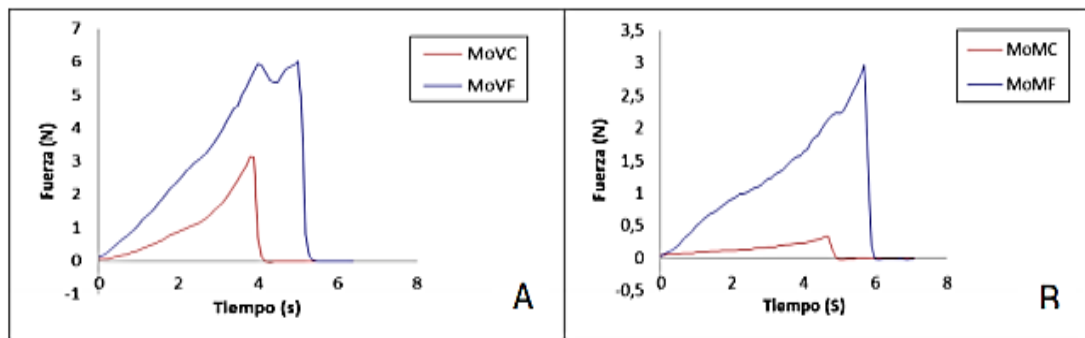


Figura 9. Efecto de la congelación sobre la textura de la mora en estado verde (A) y maduro (B)

Fuente: N. Fernández et al. (2017)

Por otra parte, **Castricini et al. (2017)**, realizaron un estudio de los cambios que presentan las fresas congeladas y almacenadas a una temperatura de -16°C por 6 meses. En dicho estudio las frutas perdieron características importantes del producto como sólidos solubles y color. El contenido de sólidos solubles de una fruta puede ser afectado por la pérdida de calidad estructural y por la pérdida de agua debido al goteo ocasionado por un inadecuado proceso de congelación o por un tiempo de almacenamiento en condiciones inadecuadas para la fruta. Generalmente la temperatura óptima de almacenamiento de una fruta congelada es de -18°C , razón por la cual pudo haber resultado ineficiente el proceso anteriormente mencionado.

3.1.2.3. Congelación de frutas por inmersión en nitrógeno líquido

Cao et al. (2018) realizaron un estudio en arándanos los cuales se sometieron a diferentes temperaturas de congelación: -20 , -40 , -80°C y congelación por nitrógeno líquido. En la Figura 10 se logra observar las curvas de congelación obtenidas en cada temperatura, así se determina que, a menor temperatura, menor es el tiempo que tarda en congelarse la fruta; siendo la congelación con nitrógeno líquido (LN2) la más rápida. Consecuentemente esta presentó mayor retención de agua en la vacuola, lo que evitó la pérdida por goteo y daño en la estructura celular. En cuanto a la textura se mantuvo la dureza y calidad de la fruta, lo mismo ocurrió con el proceso de congelación a -80°C ; sin embargo, en las temperaturas de -20 y -40°C , la dureza de la fruta disminuyó considerablemente en la fruta fresca y demás tratamientos.

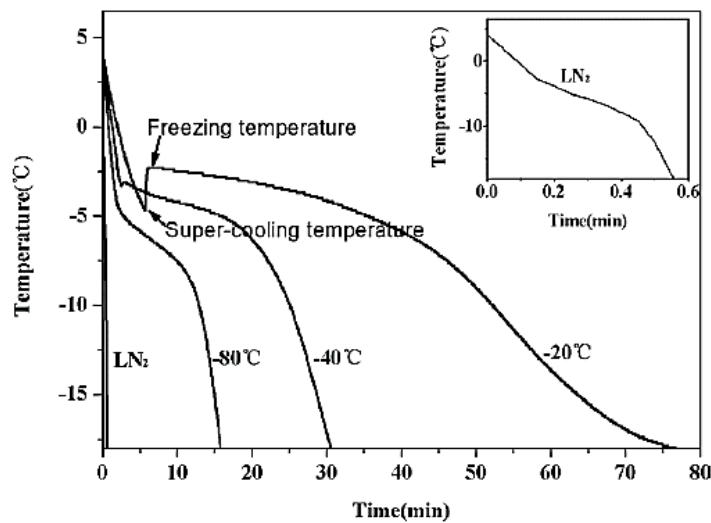


Figura 10: Curva de congelación de arándanos a diferente temperatura (-20,-40,-80 °C) y en nitrógeno líquido LN2

Fuente: Cao et al. (2018)

Cheng et al. (2020), realizaron un estudio sobre las variaciones en la calidad de arándanos, sometidos a un proceso de congelación rápida con nitrógeno líquido a diferentes temperaturas y diferentes procesos de descongelación. En dicho estudio se evidenció que las temperaturas bajas mantienen óptimamente la calidad del fruto (-80°C), y la gradiente de congelación -20~-5~-4°C, es la que permitió que la fruta mantenga sus cualidades sensoriales y estructurales. En estas condiciones la velocidad de congelación es muy rápida, se evita daño estructural y pérdida por goteo, consecuentemente no se evidencian alteraciones texturales, efecto que fue medido mediante un analizador de textura TA XTPlus. Sin embargo, el mismo proceso de congelación a diferente temperatura (-20°C), presentó un completo deterioro en su calidad, debido al rompimiento de los tejidos internos.

En la Figura 11 se evidencia que, a menor temperatura y menor tiempo de congelación, existe una menor formación de cristales, comprobando así el principio de la ultracongelación, que, a mayor velocidad, menor tiempo de congelación y consecuentemente menor daño estructural.

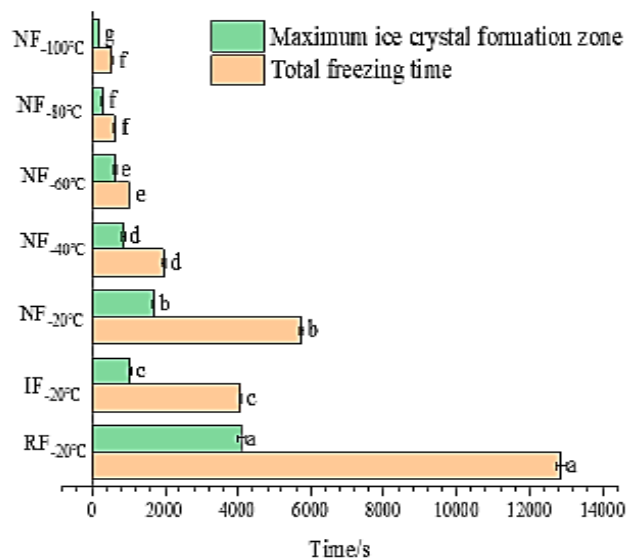


Figura 11: Tiempo y temperatura de congelación del arándano

Fuente: Cheng et al. (2020)

3.1.2.4. Congelación criogénica de frutas

Zhao et al. (2020), estudiaron el comportamiento de *Myrica Rubra*, más conocida como fresa china, las cuales fueron tratadas en un congelador doméstico y en un congelador criogénico. El primero no resultó adecuado para tratar este fruto, dado que a pesar de estar sometidos a una temperatura de -18°C , el tiempo resultó demasiado largo. Mientras que en el congelador criogénico se mantuvieron las cualidades del fruto, debido a que la velocidad con la que se llevó a cabo el proceso, fue lo suficientemente rápida como para que los cristales de hielo formados sean pequeños, por ende los daños internos del fruto fueron casi insignificantes y la textura del fruto no resultó afectada. Mantuvo completa la estructura celular, la que se comprobó con un análisis posterior al proceso de descongelación.

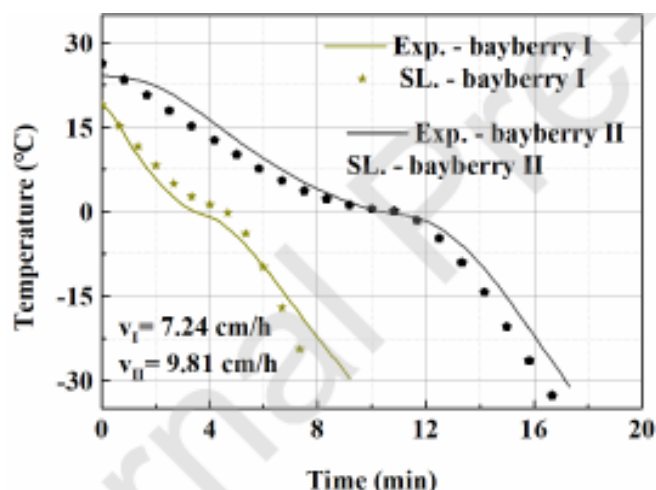


Figura 12: Perfil de temperatura de Fresas chinas (*Myrica Rubra*) congeladas.

Fuente: Zhao et al. (2020)

Existen factores que facilitan la congelación rápida de una fruta, como por ejemplo el tamaño. En la Figura 12, se puede apreciar el tiempo de congelación de 2 tipos de fresas chinas, las señaladas con el número I son de menor tamaño (Zhao et al., 2020). Claramente se observa que la velocidad y el tiempo de congelación en la fresa I es menor al de la fresa II, lo cual garantizaría mantenimiento de la calidad estructural y consecuentemente de la textura de la fruta.

Phothiset y Charoenrein (2014), realizaron un estudio de la variación de las características de la papaya, posterior al proceso de congelación criogénica a -40°C y almacenada a -20°C por 72 h. La estructura celular de la fruta se vio afectada, pues la ruptura celular generó una pérdida por goteo, lo cual conlleva a una disminución de firmeza de la fruta, causando deterioro en su textura. Aparentemente las condiciones del proceso se muestran adecuadas, no obstante, la causa de este daño fue la constatación de oscilación de ciclos de congelación.

3.1.2.5. Congelación de frutas asistida por tecnologías modernas

La textura está estrechamente relacionada con la estructura celular, por lo cual actualmente se han desarrollado diversos métodos que minimizan el daño en la estructura celular por la formación de cristales de hielo en frutas y vegetales durante el proceso de congelación; entre estos tenemos la congelación asistida por ultrasonidos, campos magnéticos, altas presiones, entre otras (D. Li et al., 2018).

Por otra parte, **Ebrahimi et al. (2019)**, mencionan que los dátiles de rutab son considerados una fruta altamente perecedera, debido a su alto contenido de azúcar y agua. Mediante un tratamiento de radiación UV – C, previo a la congelación, se logró mantener sus cualidades texturales, que se caracterizan por ser muy delicadas en esta fruta. El proceso se llevó a cabo en un congelador convencional, debido a la fragilidad de la fruta éste no hubiese sido un método adecuado para preservarla sin ser tratada con radiación, por lo que el pretratamiento ralentizó reacciones químicas y oxidativas.

Otra alternativa electromagnética moderna es la de campos magnéticos oscilantes débiles, este tiene el propósito de garantizar la calidad del alimento durante el proceso de congelación. **Aldoradin et al. (2019)**, estudiaron la influencia de dicho proceso en el mango, con el propósito de mejorar los efectos de una congelación convencional. Sin embargo, los resultados para la textura no fueron los indicados, pues la firmeza de la fruta disminuyó en un 24%, con respecto a la fruta fresca. Dicha variación se atribuye a un mal procedimiento postcongelación y la estructura de la fruta fue afectada debido a la rotura celular lo que ocasionó pérdida por goteo.

En la Figura 13 se logra observar la variación en la textura de una manzana sometida a proceso de congelación rápida y congelación lenta asistida por ultrasonido. Este estudio se realizó con el propósito de minimizar el daño por cristalización a la estructura de la fruta. Sin embargo, los ultrasonidos afectaron negativamente a la textura de la fruta. De acuerdo con **Jiménez (2019)**, en cuanto al parámetro de textura, el mejor proceso para tratar a la manzana es el de congelación rápida, el cual mantiene la fuerza de punción más próxima a la de la fruta fresca, debido al pequeño tamaño de los cristales de hielo formados en la estructura de la fruta durante en el proceso de congelación (Figura 13).

Jha et al. (2019), mencionan en su estudio que la técnica más adecuada para la evaluación de la calidad textural de una fruta congelada es en función de la fuerza y distancia, dichas mediciones se pueden realizar mediante la aplicación de un analizador de textura, como en el caso del estudio presentado anteriormente en la manzana.

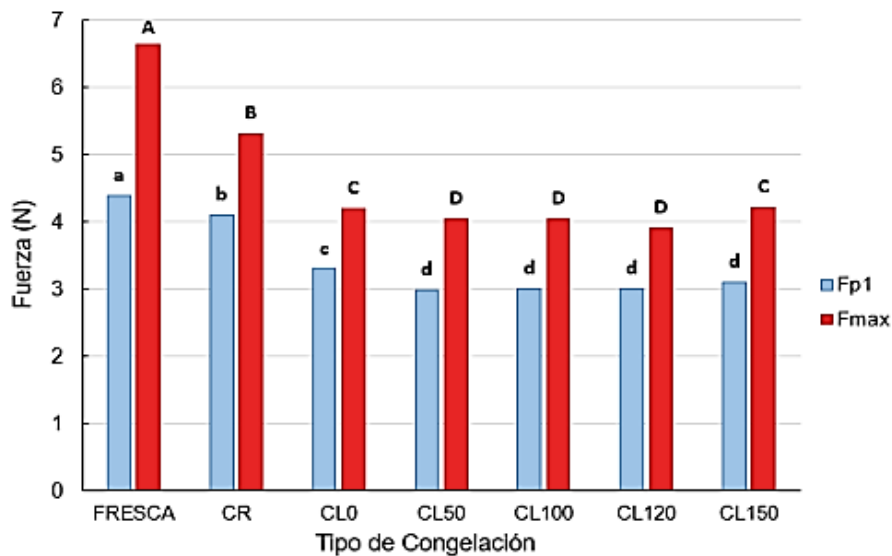


Figura 13: Primer pico de fuerza medio (FP1) y fuerza de punción máxima media (F_{max}) en muestras frescas y muestras tratadas mediante congelación rápida (CR) y congelación lenta con aplicación de ultrasonidos a diferentes potencias (CL0, CL50, CL100, CL120 y CL150)

Fuente: Jiménez (2019)

Por otra parte, la congelación isocórica a -4°C , resultó favorable para el almacenamiento de cerezas rojas. Este procedimiento evitó la formación de cristales de hielo durante la congelación, por lo cual no existió pérdida por daño celular y por ende la textura de la fruta se mantuvo similar a la de la fruta fresca. Con esto se comprobó que este tipo de congelación es óptima para el tratamiento y preservación de la calidad de este tipo de frutas; sin embargo, al disminuir la temperatura a -7°C , se produjo un daño celular, que causó pérdida por goteo y consecuentemente pérdida de firmeza y alteración en la textura, por lo cual se recomienda mucha cautela al tratar productos mediante este proceso de conservación (Bilbao et al., 2018).

3.1.2.6. La congelación de frutas como tratamiento previo para métodos de análisis

Actualmente el proceso de congelación es utilizado como tratamiento previo para otras operaciones de preservación, extracción y análisis de componentes de frutas y vegetales. Así en la investigación de Vallespir et al. (2019), se comprobó que un proceso de congelación rápida, previo a un proceso de secado de vegetales tales como remolacha, berenjena y una fruta (manzana), aportó positivamente al producto terminado, pues se evitaron daños por ruptura.

De acuerdo con **Kamiloglu (2019)**, al tratarse la fresa de una fruta de temporada, el tratamiento mejor consolidado para el almacenamiento es la congelación. En su estudio esta fruta conservó la biodisponibilidad de antocianinas, lo que garantiza que la congelación convencional a -20°C y la IQF a -22°C , no generan daño estructural.

Así mismo, **Veberic et al. (2014)**, realizaron un estudio sobre la extracción de antocianinas de moras congeladas en nitrógeno líquido y almacenadas a -20°C por 7 meses. Los resultados evidenciaron un daño celular debido a que el proceso de congelación al cual fue sometida era de lenta velocidad; sin embargo, el daño celular producido a nivel estructural facilitó la extracción de antocianinas, pero no fue favorable en la conservación de la calidad vitamínica de la mora.

Un estudio realizado por **Sadowska et al. (2017)**, manifiesta que las bayas frescas son una fruta con alto contenido de antioxidantes y vitamina C, por lo cual es muy importante aplicar un método de congelación, para mantener intactas las características anteriormente mencionadas. Sin embargo, después de someter dicho alimento a una congelación de -18°C y posterior liofilización, perdió el 10% de antocianinas y el 14% de vitamina C, con respecto al producto original, lo cual hace referencia que el proceso de congelación no es adecuado al 100%, pues la disminución del contenido de estos nutrientes propios del fruto hace referencia a que existió un posible daño estructural al momento de la congelación.

3.1.3. Ultracongelación de frutas

La ultracongelación es una de las tecnologías emergentes utilizadas en la actualidad, con el propósito de prolongar la vida útil de una fruta si causar daño en la calidad; y se ha convertido en uno de los caminos para que pequeñas organizaciones puedan exportar sus productos de manera óptima. **Quintero y Bonilla (2019)**, enfocaron su investigación a los cambios que produciría este proceso en la granadilla y se evidenció que las cualidades fisicoquímicas se mantuvieron debido a la poca formación de cristales, lo cual no causaría daño celular, ni deterioro de la textura del fruto.

Como ya se mencionó anteriormente la congelación rápida ayuda a preservar la calidad de las frutas; así **Dawson et al. (2020)**, comprobaron dicha teoría al someter rodajas de melocotón a un proceso de ultracongelación a -77°C y un almacenamiento posterior a -18°C . Las cualidades de la fruta se conservaron adecuadamente a dichas temperaturas; sin embargo, al ser almacenados a la misma temperatura de congelación por 12 meses, la calidad de la fruta se deterioró por completo.

Tabla 1. Resumen de los efectos de la congelación y ultracongelación en la estructura y textura de frutas

Fruta	Nombre científico	Sistema de congelación	Temperatura de congelación (°C)	Tiempo de congelación	Temperatura de almacenamiento (°C)	Tiempo de almacenamiento	Pretratamiento	Efecto en la estructura	Efecto en la textura	Referencia
Tratamientos previos a la congelación de frutas										
Membrillo	<i>Cydonia oblonga</i>	Deshidrocongelación	-30	-	-	-	Secado al aire	Mayor firmeza	Adecuada	(Hajji y otros., 2018)
Manzana	<i>Malus domestica</i>	Industrial	-30	-	-	-	Deshidratación	-	Mantiene la dureza	(Ben Haj Said y otros., 2015)
Manzana	<i>Malus domestica</i>	Convencional	-	-	-18	18 meses	Deshidratación	Estabilidad estructural	-	(Ben Haj Said y otros.,2020)
Papaya	<i>Carica papaya L.</i>	-	-40	-	-	10-60 días	Deshidratación osmótica	Menor pérdida por goteo	Mínimo	(Ayala y Sánchez.,2017)
Congelación convencional										
Fresa	<i>Fragaria</i>	Domestico	-23	-	-27	90 días	Escaldado	Degradación de la integridad celular	Pérdida de firmeza	(Bulut y otros., 2018)
Judía verde	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Domestico	-27	-	-	-	Escaldado	-	-	-
Naranja de bergamota	<i>Citrus bergamia</i>	Domestico	-	-	-3	-	-	Mantiene dureza	Aparentemente estable	(Sun y otros., 2019)
Fresa	<i>Fragaria</i>	Moderno congelador rápido de tipo domestico	-30	63 min	-25	4 meses	-	Integridad de las células isodiamétricas y las membranas intactas	Adecuada	(Rayman y otros., 2021).
		Lenta	-15	297 min	-	-	-	Deterioro de la membrana, contracción de las células y reducción de la capacidad de retención de agua.	Deteriorada	
Mora	<i>Rubus sp</i>	Lenta	-20	30 días	-	-	-	Pérdida de turgencia	Pérdida de firmeza	(Fernández y otros., 2017)
Fresa	<i>Fragaria</i>	-	-16	-	-16	6 meses	-	Pérdida de características propias de la fruta	-	(Castricini y otros., 2017)

Tabla 1. Resumen de los efectos de la congelación y ultracongelación en la estructura y textura de frutas (continuación)

Fruta	Nombre científico	Sistema de congelación	Temperatura de congelación (°C)	Tiempo de congelación	Temperatura de almacenamiento (°C)	Tiempo de almacenamiento	Pretratamiento	Efecto en la estructura	Efecto en la textura	Referencia
Congelación de frutas por inmersión en nitrógeno líquido										
Arándanos	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Refrigeradores de temperatura Ultra baja	-20	-	-20	72h	-	-	Pérdida de dureza	(Cao y otros., 2018)
			-40	-			-	-	Pérdida de dureza	
			-80	-			-	Retención de agua en la vacuola, evita pérdida de goteo	Adecuada	
		Inmersión en nitrógeno líquido	-	30s	-	Adecuada	Adecuada			
Arándanos			Congelación rápida (nitrógeno líquido)	-80	-	-	-	Ninguno	Ninguno	(Cheng y otros., 2020)
			-	-20	-	-	-	Daño y rompimiento celular	Textura del tejido interno irregular y colapsado	
Congelación criogénica de frutas										
Fresa China	<i>Myrica Rubra</i>	Domestico	-18	-	-18	6 meses	-	Pérdida de líquido intracelular	Variación notable	(Zhao y otros., 2020)
		Criogénico	-120	-	-18	6 meses	-	Mínimo	Mínimo	
Papaya	<i>Carica papaya L.</i>	Congelación criogénica	-40	-	-20	72 h	-	Pérdida por goteo	Pérdida de firmeza	(Phothiset y Charoenrein., 2014)

Tabla 1. Resumen de los efectos de la congelación y ultracongelación en la estructura y textura de frutas (continuación)

Fruta	Nombre científico	Sistema de congelación	Temperatura de congelación (°C)	Tiempo de congelación	Temperatura de almacenamiento (°C)	Tiempo de almacenamiento	Pretratamiento	Efecto en la estructura	Efecto en la textura	Referencia
Congelación de frutas asistida por tecnologías modernas										
Fruto del datil	<i>Phoenix dactylifera L.</i>	Convencional	-18	90 días	4	42	Radiación UV	-	Adecuada	(Ebrahimi y otros., 2019)
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Congelador de aire forzado con campos magnéticos	-30	35min	-	-	-	Ruptura de la pared celular	Disminución en la firmeza	(Aldoradin y otros., 2019)
Manzana	<i>Malus domestica</i>	Rápida	-20	-	-	-	-	Formación de cristales de hielo pequeños	Fuerza de punción 6,4% menor a la fruta fresca	(Jiménez, 2019)
		Lenta asistida por ultrasonidos	-20	-	-	-	-	Formación de cristales de hielo grandes	Fuerza de punción 20% menor a la fruta fresca	
Cereza	<i>Prunus avium</i>	Congelación isocórica	-4	24 h	-20	24 h	-	No se formaron cristales	Adecuada	(Bilbao y otros., 2018)
			-7					Pérdida de agua por daño celular	Disminución de la firmeza y la rigidez	
La congelación de frutas como tratamiento previo para métodos de análisis										
Mora		Nitrógeno líquido (congelación lenta)	-	5 min	-20	7 meses	-	Daño de los cristales de hielo en las estructuras celulares		(Veberic y otros., 2014)
Ultracongelación de frutas										
Granadilla		Ultracongelación	-18		-18	20 días				(Quintero y Bonilla.,2019)
Fresa		Convencional	-20		-80			Adecuada		Kamiloglu, (2019)
		IQF	-22	10 min	-80			Adecuada		

3.1.4. Congelación de vegetales

Actualmente los vegetales también son sometidos a procesos de congelación con el propósito de preservar sus características organolépticas; sin embargo, para este tipo de alimento se recomienda utilizar una congelación rápida en túneles de nitrógeno líquido, proceso en el cual el vegetal se somete a una temperatura de -192°C . Debido a que la congelación es inmediata, se evita la formación de cristales de hielo que generen la desnaturalización del alimento. Los vegetales congelados pueden tener una vida útil de hasta 12 meses, siempre y cuando el proceso de congelación se haya realizado de manera óptima y segura, si sobrepasa este tiempo se puede perder el valor nutricional y las propiedades organolépticas, especialmente la textura del alimento. Además, resulta indispensable no romper la cadena de frío y almacenar a temperaturas superiores a los -18°C (**M. Fernández, 2017**).

Según, **Schudel et al. (2021)**, el proceso de congelación de vegetales (como pepinillo, pimienta y zanahoria) contribuyó a la retención de líquidos, lo que garantiza la pérdida de firmeza.

3.1.4.1. Tratamientos previos a la congelación de vegetales

Existen diversas tecnologías que pueden servir como tratamiento previo a la congelación de frutas y vegetales, los más comunes resultan ser: blanqueado, escaldado y la deshidratación, este último no muy favorable para la textura de los vegetales si se utilizan altas temperaturas.

Ando et al. (2016), realizaron un estudio en zanahorias, las cuales fueron notablemente afectadas en su textura, siendo la pérdida de turgencia celular una de las principales causas de este deterioro, pues el proceso de rehidratación no pudo evitar que la congelación afectara a la membrana celular.

La deshidratación osmótica, acompañada de la congelación criogénica con nitrógeno líquido, resultó favorable para tratar vegetales como el tomate. El estudio realizado por **J. Li et al. (2016)**, corroboró que un pretratamiento osmótico ayuda a mantener la capacidad de retención de agua, provocando menor daño celular debido a que la velocidad de congelación fue mayor y el tiempo más corto, y también ayudó a preservar el color rojo característico de este vegetal.

Ciertos vegetales requieren indispensablemente un pretratamiento para conservar las características propias del vegetal, una buena alternativa resulta ser la adición de agentes crioprotectores. **Herrera García et al. (2019)**, realizaron un estudio de la cinética de congelación de la lechuga con adición de aceite de oliva como agente crioprotector. Sin embargo, esto no resultó ventajoso para la estructura del producto, ya que la velocidad de congelación se redujo con respecto a la lechuga sin tratamiento, esto debido a la mayor cantidad de solutos presentes en el vegetal.

En la Figura 14 se evidencian las curvas de congelación del tomate tratado previamente con deshidratación osmótica y uno congelado sin tratamiento previo. El pretratamiento permite que el proceso se lleve a cabo en menor tiempo, causando menos daño a la estructura celular del vegetal.

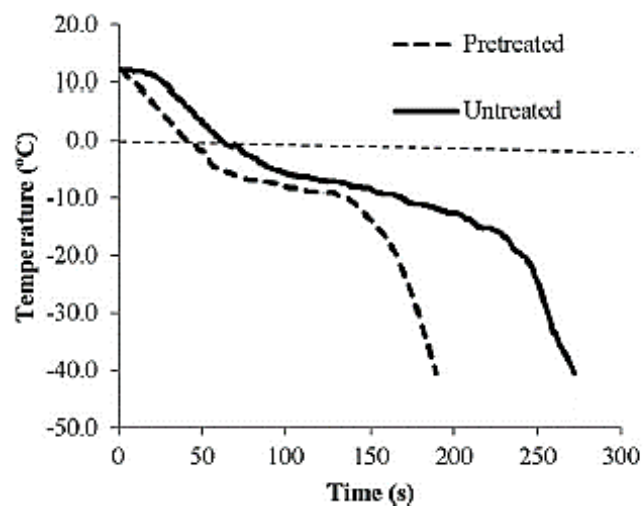


Figura 14: Curva de congelación del tomate

Fuente: J. Li et al. (2016)

3.1.4.2. Congelación convencional de vegetales

Con el propósito de identificar los cambios en la estructura celular de calabaza, **Kristianto et al. (2020)**, sometieron este vegetal a un proceso de congelación lenta y controlada. Obtuvieron como resultado una estructura celular deteriorada, pérdida de agua y ruptura celular, por ende, posterior a la descongelación se apreció una estructura áspera y rugosa, comprobando así que para este tipo de vegetal la congelación lenta a 3°C por hasta 6 h, provoca una grave degradación en el interior y exterior de la célula vegetal.

La principal desventaja de los vegetales congelados es su daño irreversible en la textura por procesos de recristalización. **Gonçalves et al. (2020)**, mediante un analizador de textura comprobó que las zanahorias sometidas a un proceso de congelación industrial perdieron su firmeza debido al agua pérdida por ruptura celular.

3.1.4.3. Congelación criogénica de vegetales

Los beneficios que brinda la congelación criogénica al ser considerada ultrarrápida se deben a la temperatura del refrigerante (CO₂ y N₂), la cual es relativamente baja, debido el punto de ebullición de los líquidos criogénicos es de -78 y -196°C, respectivamente (**Van der Sman, 2020**).

3.1.4.4. La congelación de vegetales como tratamiento previo para métodos de análisis

Frati et al. (2016), mencionan que los vegetales de textura más blanda presentan mayor contenido de fenoles. En su estudio realizado en espinacas, brócoli y judías verdes congeladas, previo a un proceso de extracción de fenoles, el vegetal que presentó mayor afectación estructural en el proceso de congelación fue la espinaca, dicho deterior se le atribuye a la textura delicada que ésta presenta.

3.1.5. Ultracongelación de vegetales

En un estudio realizado por **Schudel et al. (2021)**, compararon la congelación convectiva con la criogénica en vegetales como el pimiento, pepinillo y zanahoria, dando como resultado que la zanahoria sometida a la congelación criogénica permitió mantener mayoritariamente la estructura del vegetal, prevaleciendo la firmeza de ésta y debido a que este proceso se evitó que se desarrolle la pérdida por goteo. Sin embargo, tanto para el pepinillo, como para el pimiento, la congelación adecuada resultó ser la ultracongelación a -80°C, debido a que este proceso garantizó la calidad estructural, gracias a que debido a las características propias de este tipo de congelación se logró mantener la calidad estructural del vegetal.

Tabla 2. Resumen de los efectos de la congelación y ultracongelación en la estructura y textura vegetales.

Vegetal	Nombre científico	Sistema de congelación	Temperatura de congelación (°C)	Tiempo de congelación	Temperatura de almacenamiento (°C)	Tiempo de almacenamiento	Pretratamiento	Efecto en la estructura	Efecto en la textura	Referencia
Tratamientos previos a la congelación de vegetales										
Zanahoria	<i>Daucus carota</i> ; L.	Cámara termostática	-20	-	-20	5 días	Deshidratación al aire	Daño en la membrana celular	Deteriorada	(Ando y otros., 2016)
Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i>	Congelación criogénica con nitrógeno líquido	-40	-	4°C	1 noche	Deshidratación osmótica	Menos pérdida de goteo	Mínimo	(Li, J. y otros., 2016)
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i> L.	ultracongelador	-52	1h	-	-	agentes crioprotectores	Posible formación de cristales de hielo debido a la congelación lenta	-	(Herrera García y otros., 2019)
Congelación convencional de vegetales										
Calabaza	<i>Cucurbita moschata</i> Duchesne	Domestico	-3	4-8 h	-	-	-	Ruptura y contracción celular	Forma irregular, textura rugosa y áspera.	(Kristianto y otros., 2020)
Zanahoria	<i>Daucus carota</i> ; L.	congelación industrial	-40	-	-18	118 días	escaldado	Pérdida por goteo	Pérdida de firmeza	(Gonçalves y otros., 2020)
Ultracongelación de vegetales										
Pimiento	<i>Capsicum annuum</i>	Ultracongelador	-80	-	-	-	-	Calidad estructural adecuada	Retención de la firmeza	(Schudel y otros., 2021)
Pepinillo	<i>Solanum muricatum</i>	-	-	-	-	-	-			

3.2. Determinación de la incidencia de las condiciones de proceso empleados en la congelación y ultracongelación, sobre la estructura y textura de frutas y vegetales

Las condiciones de proceso son factores imprescindibles dentro de un proceso de congelación y ultracongelación, las más influyentes resultan ser la velocidad, tiempo y temperatura de congelación. Pues de dichos factores depende el número y tamaño de los cristales de hielo, los cuales influyen directamente sobre la textura de la fruta y vegetal.

La temperatura de congelación es el factor principal para garantizar la calidad del alimento. El valor óptimo depende del tipo de alimento, generalmente se considera que es sometido a un proceso de congelación cuando se reduce la temperatura a valores inferiores a -7°C (**Ramírez, 2007**). Además, el almacenamiento de productos congelados debe mantener una temperatura constante ($\pm 5^{\circ}\text{C}$) para evitar daños por recristalización, debido a que las fluctuaciones de temperatura o el almacenamiento a temperaturas altas, por largos periodos de tiempo, influyen directamente (**Barreiro & Sandoval, 2006**).

Así mismo, la velocidad de congelación depende de diversos factores, entre éstos tenemos principalmente a la temperatura de congelación, tipo y tamaño de alimento, coeficiente de transferencia de calor por convección del medio refrigerante, calor específico de la fruta, fracción de agua del alimento, entre otros. Mientras mayor sea la velocidad de congelación, mayor es la probabilidad de que la fruta o vegetal no presenten daño en su textura gracias a una mejor nucleación de los cristales de hielo (**Chaves & Zaritzky, 2018; Van der Sman, Voda, Van Dalen, & Duijster, 2013**).

Por otra parte, el tiempo de congelación es un factor determinante durante la optimización del proceso de congelación, debido a que de éste dependerá la velocidad con la que funcione el sistema y consecuentemente repercutirá en el daño estructural que se producirá en los tejidos. Además, el espesor del alimento a congelarse influye directamente en el tiempo de congelación; de acuerdo con **Ramírez (2007)**, el tiempo de congelación de un alimento es cuatro veces mayor que su espesor.

3.3. Aspectos o temas de investigación respecto a la variación de la estructura y textura de alimentos congelados y ultracongelados

Si bien es cierto, el tema de la variación de la estructura y textura de alimentos congelados y ultracongelados no es nuevo en el ámbito investigativo, existen aún muchos temas por abarcar especialmente en Ecuador.

De acuerdo con **Moreno et al. (2019)**, el cultivo de frutas y vegetales en Ecuador se ha incrementado notablemente en los últimos años y consigo la necesidad de establecer nuevos mecanismos de producción y conservación para garantizar que los productos mantengan su calidad a través de toda la línea de producción. La zona Sierra centro de nuestro país cuenta con aptitudes climáticas propicias para el cultivo de frutas y vegetales; sin embargo, al ser provincias pequeñas y con pocas empresas industrializadoras, no cuentan con la tecnología ni la información adecuada para garantizar la línea de producción, lo cual genera pérdidas a nivel económicas para los agricultores.

En base a investigaciones realizadas a nivel mundial se determina que el proceso de congelación ayuda a mantener la calidad de las frutas, siempre y cuando el proceso de congelación se lleve a cabo de manera óptima, respetando las condiciones de proceso dependiendo su variedad, tamaño, entre otros; es evidente que no existe la suficiente cantidad de investigaciones que avalen los efectos que el proceso de congelación y ultracongelación producen en la estructura y textura de un vegetal.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El desarrollo de la presente revisión bibliográfica se realizó a partir de datos publicados en artículos científicos, libros, revistas y tesis, de los cuales se obtuvo información relevante de los efectos que produce el método de congelación y ultracongelación en la estructura y textura de frutas y vegetales. La mayoría de las investigaciones coinciden en que el principal daño observado por los mencionados procesos, es el deterioro de la estructura celular, lo que genera pérdida por goteo, afectando directamente a la textura del fruto o vegetal.
- La efectividad de un proceso de congelación y ultracongelación de frutas y vegetales depende principalmente de las condiciones de proceso, tales como la temperatura y la velocidad, las cuales se puede estipular y controlar dependiendo el tipo de congelación empleada. A menor temperatura de congelación mayor velocidad, lo cual evita la formación de cristales de hielo de gran tamaño, mismos que ocasionan daño estructural, generando pérdida de turgencia en la célula vegetal, lo que disminuye considerablemente la firmeza del alimento.
- Los tratamientos previos ayudan a mitigar el daño estructural, especialmente cuando se aplica un proceso de deshidratación; al eliminar la cantidad de agua contenida en el alimento se evita la formación de cristales de hielo en el interior del fruto o vegetal, con ello se libera a dicho alimento del daño estructural por cristalización.

- En base a la revisión bibliográfica realizada se detectó que la mayoría de investigaciones en los últimos años se enfocan al daño producido por la congelación y ultracongelación en frutas, existe una notable deficiencia de información que se enfoque en la preservación de vegetales; esta información es muy necesaria considerando que este tipo de alimentos aporta nutrientes indispensables para la salud del consumidor.

4.2. Recomendaciones

- Se sugiere que a futuro se enfoquen proyectos de investigación a resaltar los efectos que produce un proceso de congelación en la estructura y textura de vegetales. La investigación podría estar enfocada a los vegetales que se producen en nuestro país, debido a que esto podría facilitar la exportación o comercialización de estos alimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agoulon, A. (2012). Impacto de los parámetros de congelación en las características de los alimentos.
- Alabi, K. P., Zhu, Z., & Sun, D. W. (2020). Transport phenomena and their effect on microstructure of frozen fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, *101*, 63-72. doi:10.1016/j.tifs.2020.04.016
- Aldoradin, E., Mayo, F., Alemán, J., Matta, A., Espinoza, J., & Alva, J. (2019). Effect of freezing with oscillating magnetic fields on the physical and sensorial characteristics of mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Kent'). *Brazilian Journal of Food Technology*, *22*. doi:10.1590/1981-6723.16918
- Ando, Y., Maeda, Y., Mizutani, K., Wakatsuki, N., Hagiwara, S., & Nabetani, H. (2016). Effect of air-dehydration pretreatment before freezing on the electrical impedance characteristics and texture of carrots. *Journal of Food Engineering*, *169*, 114-121. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.026>
- Aschemacher, N. (2017). Determinación del contenido de nutrientes en frutas, hortalizas y productos derivados (conservas, congelados), y desarrollo de una tabla de información nutricional para este grupo de alimentos.
- Ayala, A., & Sánchez, M. (2017). Changes in liquid phase and mechanical properties during osmodehydrofreezing of papaya (*Carica papaya* L.). *DYNA (Colombia)*, *84*(203), 208-213. doi:10.15446/dyna.v84n203.60531
- Barreiro, J., & Sandoval, A. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas: Equinoccio*.
- Ben Haj Said, L., Bellagha, S., & Allaf, K. (2015). Dehydrofreezing of Apple Fruits: Freezing Profiles, Freezing Characteristics, and Texture Variation. *Food and Bioprocess Technology*, *9*(2), 252-261. doi:10.1007/s11947-015-1619-4

- Ben Haj Said, L., Bellagha, S., & Allaf, K. (2020). Comparative study of the impacts of conventional freezing and dehydrofreezing on apple fruit quality during storage. *Acta Alimentaria*, 49(3), 235-243. doi:10.1556/066.2020.49.3.1
- Bilbao, C., Sinrod, A., Powell, M., Dao, L., Takeoka, G., Williams, T., . . . Bridges, D. (2018). Preservation of sweet cherry by isochoric (constant volume) freezing. *Innovative food science emerging technologies*, 52, 108-115.
- Bilbao, C., Sinrod, A., Powell, M., Dao, L., Takeoka, G., Williams, T., . . . McHugh, T. (2019). Preservation of sweet cherry by isochoric (constant volume) freezing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 52, 108-115. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.016>
- Bonat Celli, G., Ghanem, A., & Su-Ling Brooks, M. (2016). Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products. *Food Reviews International*, 32(3), 280-304. doi:10.1080/87559129.2015.1075212
- Bulut, M., Bayer, Ö., Kırtıl, E., & Bayındırlı, A. (2018). Effect of freezing rate and storage on the texture and quality parameters of strawberry and green bean frozen in home type freezer. *International Journal of Refrigeration*, 88, 360-369. doi:10.1016/j.ijrefrig.2018.02.030
- Busch, S. (2016). Modernización del circuito productivo de alimentos y uso del espacio metropolitano en Buenos Aires.
- Cabrera, S. (2019). *Efecto de la temperatura en el color de tres variedades de papas nativas (solanum tuberosum), sometidas al proceso de congelación*. Universidad Nacional José María Arguedas, Perú. Recuperado de http://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/123456789/486/Solina_Tesis_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cao, X., Zhang, F., Zhao, D., Zhu, D., & Li, J. (2018). Effects of freezing conditions on quality changes in blueberries. 98(12), 4673-4679. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.9000>

- Castricini, A., Dias, M., Martins, R., & Santos, L. (2017). Morangos produzidos no semiárido de Minas Gerais: qualidade do fruto e da polpa congelados. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20.
- Chaves, A., & Zaritzky, N. (2018). Cooling and Freezing of Fruits and Fruit Products. In (pp. 127-180).
- Cheng, L., Wu, W., An, K., Xu, Y., Yu, Y., Wen, J., . . . Xiao, G. (2020). Advantages of liquid nitrogen quick freezing combine gradient slow thawing for quality preserving of blueberry. *Crystals*, 10(5). doi:10.3390/cryst10050368
- Comandini, P., Blanda, G., Soto, M., Sala, V., Tylewicz, U., Mujica, H., . . . Gallina, T. (2013). Effects of power ultrasound on immersion freezing parameters of potatoes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 18, 120-125. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.01.009>
- Córdova, J. (2018). *La química y la cocina*: FCE - Fondo de Cultura Economica.
- Dawson, P., Al-Jeddawi, W., & Rieck, J. (2020). The Effect of Different Freezing Rates and Long-Term Storage Temperatures on the Stability of Sliced Peaches. *International Journal of Food Science*, 2020. doi:10.1155/2020/9178583
- De Michelis, A., & Ohaco, E. (2015). Deshidratación y desecado de frutas, hortalizas y hongos. *Procedimientos hogareños y comerciales de pequeña escala*.
- Delgado, S., & Jesus, J. (2015). Diseño, construcción e implementación de un módulo de refrigeración para simular y controlar el proceso de refrigeración y congelación de alimentos en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería de Industrias Alimentarias.
- Dincer, I., & Kanoglu, M. (2017). Food Freezing. In *Refrigeration Systems and Applications* (pp. 573-630).
- Ebrahimi, H., Mortazavi, S. M. H., Khorasani Ferdavani, M. E., & Mehrabi Koushki, M. (2019). The impact of two-sided ultraviolet radiation and long-term

freezing on quality of date fruit at rutab stage. 43(10), e14128.
doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.14128>

Fernández, M. (2017). *Preelaboracion y conservacion de vegetales y setas: UF0063*: Editorial CEP, S.L.

Fernández, N., Montenegro, S., Yamul, D., & Navarro, A. (2017). *Efecto del almacenamiento congelado sobre los parámetros de calidad y textura de moras (Rubus sp) del noreste argentino*. Paper presented at the I Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha y IX Jornadas Argentinas de Biología y Tecnología Poscosecha (Concordia, Entre Ríos, 25 al 27 de octubre de 2017).

Fratí, A., Antonini, E., & Ninfali, P. (2016). Chapter 2 - Industrial freezing, cooking, and storage differently affect antioxidant nutrients in vegetables. In R. R. Watson & V. R. Preedy (Eds.), *Fruits, Vegetables, and Herbs* (pp. 23-39): Academic Press.

García, M. (2016). *Utilización del método de deshidratación por congelación para hortalizas con gran actividad de agua*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.

García, R., Pinto, A., Rengel, J., Torres, J., González, J., & Pérez, N. (2017). Design of fuzzy control strategy applied to food process deep freeze. *Ingeniare*, 25(1), 70-84. doi:10.4067/S0718-33052017000100070

Garda, M. R. (2020). *Técnicas del manejo de los alimentos*: Eudeba.

Gonçalves, E. M., Abreu, M., Pinheiro, J., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2020). Quality changes of carrots under different frozen storage conditions: A kinetic study. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(12). doi:10.1111/jfpp.14953

González, J., Morelos, K., & Correa, D. (2015). Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos

- Gramajo, M. G. (2019). Aplicación de los métodos de conservación de alimentos. *Revista científica Ingeniería y Ciencia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar*, 1(15).
- Hajji, W., Gliguem, H., Bellagha, S., & Allaf, K. (2018). Impact of initial moisture content levels, freezing rate and instant controlled pressure drop treatment (DIC) on dehydrofreezing process and quality attributes of quince fruits. *Drying Technology*, 37(8), 1028-1043. doi:10.1080/07373937.2018.1481867
- Herrera García, N. M., López Guerrero, I. J., & Serna Cock, L. (2019). Influencia de agentes crioprotectores sobre las cinéticas de congelación de lechuga (*Lactuca sativa* L.).
- Jha, P., Xanthakis, E., Chevallier, S., Jury, V., & Le Bail, A. (2019). Assessment of freeze damage in fruits and vegetables. *Food Research International*, 121, 479-496. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.002>
- Jiménez, S. (2019). Influencia de la aplicación de ultrasonidos de potencia en la cinética de congelación y la calidad de manzana Granny Smith.
- Kamiloglu, S. (2019). Effect of different freezing methods on the bioaccessibility of strawberry polyphenols. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(8), 2652-2660. doi:10.1111/ijfs.14249
- Khudyakov, A., Kuleshova, L., Zaitseva, O., Sergushkina, M., Vetoshkin, K., & Polezhaeva, T. (2018). Effect of Pectins on Water Crystallization Pattern and Integrity of Cells During Freezing. *Biopreserv Biobank*, 17(1), 52-57. doi:10.1089/bio.2018.0066
- Kristianto, Y., Wigyanto, Argo, B. D., & Santoso, I. (2020). Effect of fuzzy-controlled slow freezing on pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch) cell disintegration and phenolics. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 14, 277-285. doi:10.5219/1303

- Li, D., Zhu, Z., & Sun, D.-W. (2018). Effects of freezing on cell structure of fresh cellular food materials: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 75. doi:10.1016/j.tifs.2018.02.019
- Li, J., Chotiko, A., Kyereh, E., Zhang, J., Liu, C., Ortega, V. V. R., . . . Sathivel, S. (2016). Development of a Combined Osmotic Dehydration and Cryogenic Freezing Process for Minimizing Quality Changes During Freezing with Application to Fruits and Vegetables. 41(1), e12926. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.12926>
- Liu, K., Xu, C., Guo, C., & Zhang, X. (2020). Sub-zero temperature preservation of fruits and vegetables: A review. *Journal of Food Engineering*, 275, 109881. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109881>
- López, E., Wang, R., Gouseti, O., Fryer, P., & Bakalis, S. (2016). Crystallisation in concentrated systems: A modelling approach. *Food and Bioprocess Technology*, 100, 525-534. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.07.007>
- Moreno, C., Moreno, R., Pilamala, A., Molina, J., & Cerda, L. (2019). El sector hortofrutícola de Ecuador: Principales características socio-productivas de la red agroalimentaria de la uvilla (*Physalis peruviana*). *Ciencia y Agricultura*, 16(1), 31-51.
- Muthukumarappan, K., Tiwari, B., & Swamy, G. J. (2018). Refrigeration and Freezing Preservation of Vegetables. In *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing* (pp. 341-363).
- Neri, L., Faieta, M., Di Mattia, C., Sacchetti, G., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2020). Antioxidant activity in frozen plant foods: Effect of cryoprotectants, freezing process and frozen storage. *Foods*, 9(12). doi:10.3390/foods9121886
- Phothiset, S., & Charoenrein, S. (2014). Effects of freezing and thawing on texture, microstructure and cell wall composition changes in papaya tissues. 94(2), 189-196. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.6226>

- Quintero, S., & Bonilla, M. (2019). La ultra congelación como método de preservación y conservación de la granadilla (*Passiflora ligularis* juss). *Revista Tecnología y Productividad*, 4(4), 195-204. doi:10.23850/24632465.2343
- Ramírez, J. (2007). *Refrigeración* CEAC Ediciones.
- Rayman, A., Yanat, M., & Baysal, T. (2021). The effects of the novel home freezing system on microstructure, color, antioxidant activity, and microbiological properties of strawberries. *International Journal of Refrigeration*, 121, 228-234. doi:10.1016/j.ijrefrig.2020.10.013
- Sadowska, K., Andrzejewska, J., & Klóska, Ł. (2017). Influence of freezing, lyophilisation and air-drying on the total monomeric anthocyanins, vitamin C and antioxidant capacity of selected berries. 52(5), 1246-1251. doi:<https://doi.org/10.1111/ijfs.13391>
- Schudel, S., Prawiranto, K., & Defraeye, T. (2021). Comparison of freezing and convective dehydrofreezing of vegetables for reducing cell damage. *Journal of Food Engineering*, 293. doi:10.1016/j.jfoodeng.2020.110376
- Sun, D., Tingtiao, P., Hongbin, P., Zhu, Z., & Han, Z. (2019). Multi-temperature-region ice-temperature fresh keeping storehouse and fresh keeping method for bergamot pears. In: Google Patents.
- Tan, X. Y., Misran, A., Daim, L. D. J., Ding, P., & Pak Dek, M. S. (2020). Effect of freezing on minimally processed durian for long term storage. *Scientia Horticulturae*, 264. doi:10.1016/j.scienta.2019.109170
- Vallespir, F., Rodríguez, Ó., Eim, V. S., Rosselló, C., & Simal, S. (2019). Effects of freezing treatments before convective drying on quality parameters: Vegetables with different microstructures. *Journal of Food Engineering*, 249, 15-24. doi:10.1016/j.jfoodeng.2019.01.006
- Van der Sman, R. (2020). Impact of Processing Factors on Quality of Frozen Vegetables and Fruits. *Food Engineering Reviews*, 12(4), 399-420. doi:10.1007/s12393-020-09216-1

- Van der Sman, R., Voda, A., Van Dalen, G., & Duijster, A. (2013). Ice crystal interspacing in frozen foods. *Journal of Food Engineering*, 116(2), 622-626. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.045>
- Veberic, R., Stampar, F., Schmitzer, V., Cunja, V., Zupan, A., Koron, D., & Mikulic, M. (2014). Changes in the contents of anthocyanins and other compounds in blackberry fruits due to freezing and long-term frozen storage. *J Agric Food Chem*, 62(29), 6926-6935. doi:10.1021/jf405143w
- Zhang, W., Ma, J., & Sun, W. (2020). Raman spectroscopic techniques for detecting structure and quality of frozen foods: principles and applications. *Critical Reviews in Food Science*, 1-17.
- Zhao, Y., Ji, W., Guo, J., Chen, L., Tian, C., Wang, Y., & Wang, J. (2020). Numerical and experimental study on the quick freezing process of the bayberry. *Food and Bioproducts Processing*, 119, 98-107. doi:10.1016/j.fbp.2019.10.013