



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**Manejo de verduras congeladas durante la etapa de  
venta al detalle-consumo**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**  
**INGENIERO EN ALIMENTOS**  
**P R E S E N T A:**  
**HUGO CÉSAR ESTEBAN VALDEZ**

**ASESORES:**

**I.A. Alfredo Álvarez Cárdenas**  
**Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Manejo de verduras congeladas durante la etapa de venta al detalle-consumo.

Que presenta el pasante: Hugo César Esteban Valdez

Con número de cuenta: 311138094 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 27 de Abril de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.A. Alfredo Álvarez Cárdenas	
VOCAL	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	
SECRETARIO	I.A. Manuel Alarcón López	
1er. SUPLENTE	I.A. María Guadalupe López Franco	
2do. SUPLENTE	I.A. Miriam Álvarez Velasco	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

## **AGRADECIMIENTOS**

- El PAPIIT IT201617, “Efecto de recubrimientos nanoparticulados y tratamiento con luz UV-C sobre la actividad antioxidante, enzimática e integridad de frutas y hortalizas cortadas”. de la Dirección General de Asuntos de Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA-UNAM).
- El proyecto PIAPI 1647 “Evaluación y diseño de sistemas nanoparticulados para la conservación refrigerada y/o congelada de productos de origen vegetal. Proyecto interno de FES-Cuautitlán-UNAM
- Hugo César Esteban Valdez agradece el apoyo técnico para la realización de pruebas colorimétricas y texturales de la Dra. María de los Ángeles Cornejo Villegas, en e Laboratorio de Transformación y Tecnologías Emergentes de Alimentos de la UIM.

## **LUGAR DE REALIZACIÓN**

Este trabajo se realizó en la Unidad de Investigación Multidisciplinaria, Laboratorio de Transformación y Tecnologías Emergentes de Alimentos, Campo IV FES-Cuautitlán-UNAM.

## DEDICATORIAS

- A mis padres y abuelos, quienes con su esfuerzo y sacrificio me apoyaron en todo momento, este logro también es de ustedes, pues desde siempre me supieron guiar con su ejemplo de superación y lucha.
- Un sincero agradecimiento a mis asesores, Alfredo y María de la Luz por su apoyo y colaboración en la elaboración del presente trabajo
- A David Vega Remigio, mi fiel e incondicional amigo.
- A la Universidad Nacional Autónoma de México a través de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

“Por mi raza hablará el espíritu”

**RESUMEN****INTRODUCCIÓN****CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

1.1 Hábitos de consumo de verduras congeladas en México	1
1.2 Producción y comercialización de verduras congeladas en México	3
1.3 Mezcla campesina de verduras congeladas	6
1.4 Proceso de congelación	8
1.5 Verduras congeladas	14
1.5.1 Proceso de elaboración de mezcla campesina de verduras congeladas	15
1.5.2 Factores que afectan la calidad de las verduras congeladas	17
1.5.3 Cambios en la calidad de las verduras congeladas	20
1.5.4 Recristalización	21
1.6 Métodos y equipos de congelación	22
1.7 La cadena del frío	25

**CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

2.1 Problema	28
2.2 Objetivo general y objetivos particulares	29
2.3 Variables y diseño experimental	29
2.4 Actividades preliminares	30
2.4.1 Caracterización y acondicionamiento del equipo de congelación	30
2.4.2 Caracterización del congelador doméstico	32
2.4.3 Pruebas preliminares al producto comercial y a la materia prima	32
2.5 Materiales y métodos	34
2.5.1 Material biológico y control de materia prima	34
2.5.2 Variación de temperatura	36
2.6 Evaluación de los parámetros de calidad	38
2.6.1 Pérdida de agua	38
2.6.2 pH	39
2.6.3 Textura	39
2.6.4 Cambios de color	40
2.6.5 Cristales de hielo	40
2.7 Toma de muestra	41

**CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

3.1 Caracterización y acondicionamiento del equipo de congelación	42
3.2 Caracterización del congelador doméstico	43
3.3 Tiempo de congelación	43
3.4 Visita a la tienda de autoservicio Soriana Mercado	45

3.5 Historias térmicas	47
3.6 Diferencia de color ( $\Delta E$ )	52
3.7 Cambios en ángulo de tono (Hue)	54
3.7.1 Zanahoria	54
3.7.2 Chícharo	56
3.7.3 Elote	57
3.8 Cambios en cromaticidad	59
3.8.1 Zanahoria	60
3.8.2 Chícharo	62
3.8.3 Elote	64
3.9 Cambios en pH	65
3.10 Pérdida de agua	66
3.11 Cambios texturales	68
3.12 Microscopía	71
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	
APÉNDICE	

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Zanahoria, <i>Daucus Carota</i>	7
2	Chícharo, <i>Pisum sativum L.</i>	7
3	Esquema de la morfología del maíz	8
4	Visión esquemática de los procesos de congelación de una sustancia pura (agua) y de un alimento a dos velocidades de congelación	10
5	Crecimiento libre de cristales de hielo en agua, velocidad de congelación creciente de izquierda a derecha	11
6	Diagrama del proceso de elaboración de mezcla campesina de verduras congeladas	16
7	Equipos de congelación	23
8	Dimensiones Congelador Frigidaire	31
9	Mediciones de temperatura	31
10	Acondicionamiento del congelador	32
11	Espacio libre de cabeza del producto comercial	33
12	Componentes de la mezcla campesina de verduras	33
13	Prueba previa congelación en charola y en bolsa	34
14	Charola para congelación	35
15	Medidas bolsa de polietileno de media densidad	35
16	Balanza digital Ohaus SoutPro	38
17	Potenciómetro Hanna HI-207 Educational	39
18	Texturómetro Brookfield CT3	39
19	Agro colorímetro Apollinaire	40
20	Microscopio digital Celestron 44302	40
21	Toma de muestra de la mezcla campesina de verduras congeladas	41
22	Temperaturas del congelador Frigidaire	42

23	Fluctuación de temperaturas durante la caracterización del equipo	43
24	Bolsas de 60 g de mezcla campesina de verduras	44
25	Base para la charola de congelación	45
26	Equipo de exhibición de productos congelados (Congelador vertical)	45
27	Bolsas de mezcla campesina con <i>smartbutton</i> en el interior	46
28	Mezcla de verduras comercial, variación normal de temperatura	48
29	Mezcla de verduras comercial, variación severa de temperatura	49
30	Mezcla de verduras en congelación lenta, variación normal de temperatura	49
31	Mezcla de verduras en congelación lenta, variación severa de temperatura	50
32	Mezcla de verduras en congelación rápida, variación normal de temperatura	51
33	Mezcla de verduras en congelación rápida, variación severa de temperatura	51
34	Diferencia de color de la mezcla campesina en variación normal de temperatura	53
35	Diferencia de color de la mezcla campesina en variación severa de temperatura	53
36	Cambios en el ángulo de tono en zanahoria para los 3 métodos de congelación (variación normal de temperatura)	55
37	Cambios en el ángulo de tono en zanahoria para los 3 métodos de congelación (variación severa de temperatura)	55
38	Cambios en el ángulo de tono del chícharo para los 3 métodos de congelación (variación normal de temperatura)	56

39	Cambios en el ángulo de tono del chícharo para los 3 métodos de congelación (variación severa de temperatura)	57
40	Cambios en el ángulo de tono del elote para los 3 métodos de congelación (variación normal de temperatura)	58
41	Cambios en el ángulo de tono del elote para los 3 métodos de congelación (variación severa de temperatura)	59
42	Cambios en la cromaticidad de la zanahoria para los 3 métodos de congelación (variación normal de temperatura)	60
43	Cambios en la cromaticidad de la zanahoria para los 3 métodos de congelación (variación severa de temperatura)	61
44	Cambios en la cromaticidad del chícharo para los 3 métodos de congelación (variación normal de temperatura)	62
45	Cambios en la cromaticidad del chícharo para los 3 métodos de congelación (variación severa de temperatura)	63
46	Cambios en la cromaticidad del elote para los 3 métodos de congelación (variación normal de temperatura)	64
47	Cambios en la cromaticidad del elote para los 3 métodos de congelación (variación severa de temperatura)	65
48	Cambios de pH en los 3 métodos de congelación en variación normal y severa de temperatura	66
49	Pérdida de agua para los 3 métodos de congelación en variación normal de temperatura	67
50	Pérdida de agua en los 3 métodos de congelación en variación severa de temperatura	68
51	Cambios de textura en la mezcla campesina de verduras en variación normal de temperatura	69
52	Cambios de textura en la mezcla campesina de verduras en variación normal de temperatura	70

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Industrias de hortalizas congeladas en México	4
2	Verduras congeladas La Huerta	5
3	Composición química de zanahoria, chícharo y elote	14
4	Factores y niveles de variación	30
5	Proporción de los componentes de la mezcla campesina	32
6	Rendimiento de la zanahoria, el chícharo y el elote	33
7	Condiciones de variación de temperatura	38
8	Condiciones y resultados del proceso de congelación	44
9	Temperatura ambiente de la tienda de autoservicio y durante el transporte	47
10	Microscopia de todos los tratamientos en variación normal y severa de temperatura	71

## RESUMEN

La congelación es un método de conservación que permite preservar la calidad de los alimentos por largos periodos, alterando mínimamente sus características de frescura. El consumo de verduras congeladas ha incrementado en los últimos años por ser productos de fácil preparación y una buena alternativa a la tendencia creciente hacia una alimentación cada vez más saludable. Un problema importante se presenta en las condiciones de manejo de las verduras congeladas durante la compra, transporte y almacenamiento. Por lo tanto, este trabajo tuvo el objetivo de estudiar y analizar el manejo de una mezcla campesina de verduras congeladas desde la compra del producto en las tiendas de autoservicio, hasta el almacenamiento frigorífico doméstico, considerando las condiciones en que se lleva a cabo el transporte y el efecto de la exposición a temperatura ambiente. Así mismo, se estudió el efecto de estas condiciones en una mezcla de verduras en congelación lenta y una mezcla en congelación rápida, comparando los resultados con una mezcla campesina comercial para contrastar diferencias y similitudes entre estos productos, se tomaron muestras al tercer y sexto día de almacenamiento para evaluar sus parámetros de calidad (pérdida de agua, pH, textura, color y cristales de hielo en la superficie de las verduras). Las pruebas realizadas revelaron que existe una disminución de textura, mayor pérdida de agua y oscurecimiento de las verduras al sexto día de almacenamiento siendo el chícharo y el elote los componentes más afectados de la mezcla campesina. De las variables estudiadas (método de congelación, tiempo de almacenamiento y variación de temperatura) el tiempo de almacenamiento influye en mayor medida sobre los atributos de calidad. Por otra parte, la congelación lenta denota cambios severos en el color entre días de almacenamiento; lo cual nos demuestra los beneficios de emplear un método de congelación rápida. Por último, mediante los gráficos elaborados y la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), se demostró similitud entre la mezcla en congelación rápida y la mezcla comercial, esto confirma que la mezcla comercial es elaborada a partir de un método de congelación rápida.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado el consumo de alimentos semiprocados y procesados (enlatados, deshidratados, condensados, cortados, congelados, precocidos entre otros) por la conveniencia en su consumo o por la reducción del tiempo de preparación (Torres, 1997). Actualmente el consumidor prefiere alimentos naturales, sin conservadores y producidos de manera menos ofensiva para el medio ambiente (Borbón, 2001; Rubio, 2001 citados por Cruz, Leos y Altamirano, 2013). Las verduras congeladas cumplen con las características antes mencionadas, entre ellas, se destaca la mezcla campesina de verduras utilizada como guarnición de verduras o en la preparación de algún otro platillo, en particular en la preparación de arroz con verduras. Las verduras congeladas son comúnmente comercializadas en tiendas de autoservicio, ya que estos formatos comerciales cuentan con la infraestructura adecuada para mantener el producto a  $-20^{\circ}\text{C}$  (Viteri, 2003).

Fabricantes y tiendas de autoservicio realizan esfuerzos considerables para mantener la cadena del frío y que los alimentos lleguen a los consumidores en las mejores condiciones posibles. Sin embargo, la forma en que los productos son manipulados, almacenados y utilizados en los hogares puede influir sobre su calidad. Inevitablemente la cadena del frío se rompe cuando el consumidor extrae las verduras del congelador, realiza un recorrido por la tienda de autoservicio y hace el transporte hacia el hogar. Los productos congelados adquiridos deben introducirse con la mayor rapidez posible en el compartimiento congelador del frigorífico familiar, ya que los productos congelados en envases al por menor se descongelan en 2 a 3 horas (Gruda, 1986). Por otra parte, Herbon y Ceder (2018),

señalan que los productos perecederos pueden dañarse por variaciones de temperatura (durante el transporte y almacenamiento) y la exposición a temperatura ambiente representa un riesgo adicional que afecta la calidad y frescura. Lamentablemente, los consumidores desconocen los daños ocasionados a los alimentos congelados cuando estos permanecen expuestos a temperatura ambiente por un largo periodo (IIF, 1990). En consecuencia, el consumidor suele realizar otras actividades después de hacer las compras en las tiendas de autoservicio, lo que provoca la descongelación del producto y la pérdida de atributos de calidad. Por otro lado, una encuesta realizada en los congeladores domésticos de los Estados Unidos reveló que solo el 30% de estos se encuentran por debajo de los  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , esto indica que el almacenamiento frigorífico doméstico no se realiza a la temperatura recomendada (Evans, 2008).

La formación de cristales de hielo durante el proceso de congelación y sus cambios durante el almacenamiento congelado afectan la microestructura de los alimentos congelados. Esta alteración de la microestructura puede conducir a la pérdida de calidad, tal como, pérdida de textura y agua por goteo y cambios en el color y sabor (Devahastin, 2018). En adición a lo anterior, la calidad sensorial de los alimentos congelados puede ser influenciada por el método de congelación empleado. Por ejemplo, la congelación lenta puede causar daño estructural extenso debido a la formación de cristales de hielo más grandes (George, 1993 citado por Rawson et al., 2012). La pérdida de textura debe evitarse, ya que este atributo de calidad de las verduras congeladas es uno de los más importantes desde el punto de vista del consumidor (Hui et al., 2004). Es importante determinar de qué manera influye el cambio de temperatura, el manejo y el tiempo de transporte en la calidad de las verduras congeladas, para mejorar la forma en que se realiza la compra de los alimentos congelados, por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo determinar el efecto de la variación de temperaturas en una mezcla campesina de verduras congeladas durante la etapa de venta al detalle-consumo determinando los cambios en los atributos de calidad fisicoquímicos y texturales (pérdida de agua, escarcha formada en la superficie y cambios de color y pH).

# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 Hábitos de consumo de verduras congeladas en México**

El cambio en la demanda del mercado generó una sustitución de productos que resultó en un nuevo patrón de cultivos y en una relocalización de la producción. El consumidor se inclina por la adquisición de productos de fácil preparación, por fuentes de energía bajas en grasas y ricas en fibra proporcionadas por los vegetales frescos y procesados. Actualmente el consumidor prefiere alimentos naturales, sin conservadores y producidos de manera menos ofensiva para el medio ambiente (Borbón, 2001; Rubio, 2001 citados por Cruz, Leos y Altamirano, 2013).

Los productos congelados y refrigerados están teniendo una mayor aceptación que los enlatados, originada en una imagen negativa de estos últimos productos en cuanto a su grado de procesamiento, duración y requisitos de salud. Esto quiere decir que los alimentos congelados y refrigerados han desplazado y sustituido a los alimentos enlatados, debido a las características sensoriales y de consumo que estos métodos de conservación proporcionan.

En México, cada vez toma más relevancia el uso de productos alimenticios industrializados en el hogar para reducir los tiempos de elaboración de los alimentos, utilizando la ayuda de productos enlatados, deshidratados, condensados, cortados, congelados, precocidos entre otros. En este sentido, las verduras congeladas son comúnmente utilizadas como guarnición para acompañar a los alimentos o para preparar algún platillo, la mezcla campesina de verduras

congeladas puede ser empleada en ambos casos, pero es especialmente útil en la elaboración de arroz con verduras.

La nueva organización familiar se ha expresado de modo contundente en los cambios de los hábitos de compra: aquí han variado desde los horarios hasta la periodicidad, además de los lugares o establecimientos comerciales. En primer lugar, se advierte que con la presencia de las cadenas de autoservicio los momentos de compra se han extendido a casi todo el día, con una tendencia a realizarse hacia el final del día y de la jornada laboral.

Según una encuesta reciente, se observa un predominio del comercio tradicional y de las cadenas de autoservicio entre los consumidores de alimentos en escala nacional. De acuerdo con dicha fuente, existen tendencias muy definidas entre el público consumidor con respecto a sus preferencias de compra ante los diferentes establecimientos comerciales. En el conglomerado urbano nacional, los públicos tienen mayores frecuencias de compra en abarrotes y tienditas, mercados establecidos y autoservicios, en orden decreciente; los subsistemas de abasto con menor concurrencia son las tiendas de gobierno, bodegas, minisúpers y clubes de precios, en orden progresivo; en un plano intermedio en la frecuencia de compras se ubican los mercados sobre ruedas y los tianguis (Torres, 1997).

De acuerdo con Torres (1997), resulta interesante la coexistencia del comercio tradicional (abarrotes, tianguis y mercados establecidos y sobre ruedas) y comercio moderno (tiendas de autoservicio) esto se debe a la segmentación socioeconómica, el público de mayor nivel socioeconómico acude a tiendas de autoservicio y minisúper, en tanto el público de menor nivel socioeconómico acude al comercio tradicional. En referencia a las verduras congeladas, sólo el público con mayor poder adquisitivo y aquellos que ponderan sus condiciones de higiene tienen acceso a las verduras congeladas pues alcanzan un precio de venta superior hasta en 40% a las frescas.

## **1.2 Producción y comercialización de verduras congeladas en México**

La producción de verduras congeladas en México está orientada en su totalidad al mercado exterior ya que, por una serie de razones, el mercado mexicano actualmente es muy limitado (Gómez, 1986).

En nuestro país, la venta de verduras es más popular en tianguis y mercados, por ello la comercialización de verduras congeladas es mayor a nivel internacional. De las 280 mil toneladas anuales de verduras congeladas que se producen en México, 93% se destinan para el mercado de exportación. El principal destino de las ventas internacionales es el mercado de Estados Unidos, ya que ahí se exporta 85% de la producción. El resto de las exportaciones se dividen en países como Canadá, Japón, Alemania y Australia. La poca apertura que hay en nuestro país respecto a la adquisición de verduras congeladas, se debe a que muchos consumidores ignoran que bajo ese proceso es posible mantener mejor los alimentos y que no contienen ningún tipo de aditivo o conservador (SIAP, 2016).

Actualmente existen en México 19 empresas dedicadas a congelar hortalizas, ubicándose la mayoría de ellas (11 empresas) y las más relevantes, en el estado de Guanajuato, mientras que los 8 restantes están establecidas en Sonora, Sinaloa, Aguascalientes, Michoacán y Querétaro (Tabla 1). Salvo una de las empresas guanajuatenses que está situada en el norte del estado, en el municipio de Dolores Hidalgo, el resto de ellas se encuentra dentro del llamado Corredor Industrial de Guanajuato (Echánove, 2000).

De acuerdo con Gómez 1986, en el estado de Guanajuato se produce la mayor parte de hortalizas congeladas, aportando alrededor del 80% de la producción nacional; en menor importancia se ubican las regiones de Zamora, Michoacán (7%) y la región de Aguascalientes, Aguascalientes (6%). En aquel año se instalaron tres plantas en otros estados; una en Querétaro, Querétaro, otra en la región de Montemorelos, Nuevo León y una más en el estado de Jalisco.

Tabla.1 Industrias de hortalizas congeladas en México (Echánove, 2000).

<b>Propietario</b>	<b>Empresas</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>Volumen anual de procesado (miles de ton)</b>
Nieto/Simplot	Marbran-Simplot	Irapuato, GTO Jalal, GTO	1980 1995	45
Nieto	Exporsan Antonio	Villagrán, GTO	1990	40
Agnlink	Birdseye	Celaya, GTO	1967	28
Diageo	Gigante Verde	Irapuato, GTO	1983	27
Usabiaga	COVEMEX	Celaya, GTO	1976	16
Arteaga	La Huerta	Aguascalientes	1976	15
Roiz	Expohort	Querétaro	1985	14
Fox	Congelados Don José	León, GTO	1985	11
Bours	Congeladora Hortícola Sonorense	Cd. Obregón, Son	1990	11
Alvarado/Amerines	ICEMARK	Aguascalientes	1999	8
Covarrubias	FRESPORT	Irapuato, GTO	1986	7
Tarriba/Eckert	Congeladora Ceuta	Culiacán, Sin	1990	5
Miranda	La Esperanza de Miranda	Dolores Hidalgo, GTO	1990	5
Alvarado	Friendly Nature	Irapuato, GTO	1996	4
Bimbo	Frexport	Zamora, Mich	1991	4
Hnos. García	Fruveza	Zamora, Mich	1988	4
Valdéz	Empacadora El Celio	Jacona, Mich	1985	4
González	Productos FRUGO	Salamanca, GTO	1989	3
León	Congeladora La Hacienda	Silao, GTO	1991	3
<b>TOTAL</b>				<b>254</b>

Las verduras congeladas son una respuesta ideal a la tendencia creciente hacia una alimentación cada vez más saludable. Dentro de la categoría de vegetales congelados se encuentran, por un lado, uno de los productos más populares en el mercado que son las papas congeladas listas para freír y consumir y, por el otro, el mix de verduras congeladas que mezcla arvejas, habichuelas, zanahoria y maíz en una misma bolsa (IALIMENTOS, 2016). En el mercado mexicano se comercializan las verduras congeladas mostradas en la tabla 2, entre ellas se encuentra la mezcla campesina, el objeto de estudio de este trabajo.

Tabla 2. Verduras congeladas La Huerta (Walmart, 2017).

Verdura Congelada	Presentación	Verdura Congelada	Presentación
Guarnición de verduras (coliflor, brócoli, elote y zanahoria)		Mezcla Juliana (zanahoria, calabaza, tallo de brócoli y elote)	
Mezcla California (brócoli, coliflor y zanahoria)		Frutos del Huerto (brócoli, coliflor, zanahoria amarilla y zanahoria naranja)	
Mezcla Campesina (zanahoria, elote y chícharo)		Chícharo con zanahoria	

Tabla 2 (continuación). Verduras congeladas La Huerta (Walmart, 2017).

Verdura Congelada	Presentación
<p>Combinado Primavera (zanahoria, papa, elote y chícharo)</p>	
<p>Combinado de vegetales (zanahoria, ejote y elote)</p>	
<p>Mezcla Stir Fry (brócoli, zanahoria amarilla, zanahoria naranja, chícharo chino, pimiento rojo y cebollín)</p>	

### 1.3 Mezcla campesina de verduras congeladas

La zanahoria, el chícharo y el elote son los componentes que conforman la mezcla campesina de verduras, esta se vende normalmente congelada en las tiendas de autoservicio. La mezcla campesina de verduras es popular entre los consumidores por su practicidad para preparar platillos. A continuación, se muestran las generalidades de los componentes de la mezcla campesina.

#### a) Zanahoria (*Daucus carota*)

La zanahoria es una raíz vegetal, casi siempre naranja con una textura leñosa y puede ser consumida cruda o cocida. Tiene un tallo corto en el que se forman las flores. Las flores son blancas con largas brácteas en su base, agrupadas

en inflorescencias en umbela compuesta, como sombrillas. La raíz principal tiene una función de almacenamiento y posee numerosas raíces secundarias que sirven como órganos de absorción. El color anaranjado de las zanahorias se debe a un colorante llamado caroteno, que constituye la vitamina A (GOB, 2017).



Figura 1. Zanahoria, *Daucus Carota* (Interior, 2018).

#### **b) Chícharo (*Pisum sativum L.*)**

El guisante, arveja o chícharo (*Pisum sativum*) es la pequeña semilla comestible de la planta que se cultiva para su producción. La planta es una trepadora de 2 m de alto, con zarcillos ramificados y flores blancas o moradas de hasta 30 mm de ancho. Los guisantes pertenecen a la familia de las leguminosas, a pesar de que el acervo popular los considere verduras. Los guisantes secos son las semillas maduras de la planta homónima, y se encuentran encerradas dentro de una cubierta o vaina de color verde intenso, de 5 a 10 cm de longitud. En cada vaina suele haber entre 7 y 9 semillas. Las «valvas» de la vaina tienen un pergamino que las hace incomedibles. El guisante es un alimento oriundo de Medio Oriente y de Asia Central, donde se cultiva desde hace miles de años. Hoy en día, es una legumbre conocida en todo el mundo (FEN, 2017).

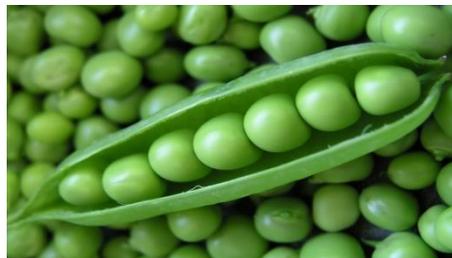


Figura 2. Chícharo, *Pisum sativum L.* (FEN, 2017).

### c) Maíz (*Zea mays*)

El maíz es una forma domesticada de una cepa de teosinte, un pasto salvaje que pertenece a la familia de gramíneas y cuyo nombre científico es *Zea mays*. Las panojas o mazorcas son las estructuras donde se desarrolla el grano, en un número variable de hileras, que producen de 300 a 1000 granos. El grano individual del maíz es botánicamente una cariósida y está formado por cuatro estructuras principales: el pericarpio o cáscara, el germen, el endospermo y la piloriza (Benítez, 2006), como se muestra en la Figura 3.

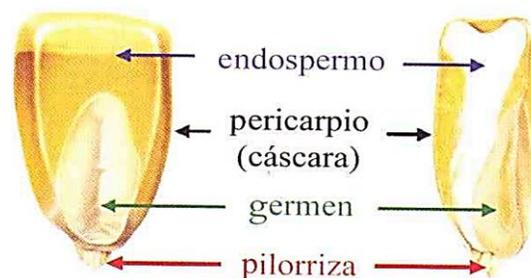


Figura 3. Esquema de la morfología del maíz (Benítez, 2006).

En México se produce una amplia variedad de maíz, aunque, dos variedades son las sobresalientes: el maíz blanco y amarillo. El maíz blanco se utiliza principalmente para el consumo humano y sin lugar a duda contribuye a la seguridad alimentaria al transformarse en insumo para alimentos (SAGARPA, 2017).

#### 1.4 Proceso de congelación

La congelación consiste en la aplicación de temperaturas a los alimentos por debajo de cero grados centígrados, de forma que parte del agua del alimento forme cristales de hielo. Al mismo tiempo, como el agua se solidifica, se produce una desecación del alimento, lo que contribuirá de forma significativa a una mejor conservación. Lógicamente, este efecto será más importante cuanto más baja sea la temperatura. La temperatura de elección a nivel internacional es de  $-18^{\circ}\text{C}/0^{\circ}\text{F}$ , ya que por debajo de ésta se estima que no es posible la proliferación de bacterias (significativamente), por lo que disminuye la posibilidad de alteración y se reducen los riesgos para la salud (Umaña, 2011).

La congelación es un método de conservación de alimentos, debido a la reducción de la actividad de agua; el agua del alimento se congela y no puede ser utilizada por los microorganismos, las bajas temperaturas retardan las reacciones bioquímicas y enzimáticas. La congelación preserva los alimentos y sistemas biológicos sin producir cambios importantes en su forma, tamaño, color, sabor, textura y valor nutritivo (Machado y Vélez, 2008).

La congelación debe realizarse en conjunto con otras operaciones que ayuden a controlar la actividad enzimática de estos productos para evitar cambios indeseables en el color, sabor, textura y valor nutritivo durante el almacenamiento congelado. La operación usual para este propósito es el escaldado o exposición rápida del material a agua caliente o vapor (Orrego, 2003).

Según Orrego (2008), el proceso de congelación se lleva a cabo en tres etapas:

1. Precongelación: es el período desde el inicio del enfriamiento hasta que comienza a cristalizarse el agua del alimento. Este periodo se caracteriza por la remoción de calor sensible del alimento.
2. Congelación: Antes de iniciar la congelación puede existir un ligero subenfriamiento (S), la temperatura del alimento disminuye por debajo del punto de fusión o congelación. En este periodo, la temperatura del material es más o menos constante y ocurre un cambio de fase debido a la remoción de calor latente.
3. Luego que los materiales se congelan por completo, sigue un descenso de temperatura aproximadamente lineal, causado por el retiro de calor sensible del producto ya sólido, fase que concluye cuando el material alcanza la temperatura del medio refrigerante o congelador utilizado para el proceso. El hielo puro se separa de la solución alimenticia causando en ella su concentración en sólidos y el descenso de su temperatura. El proceso continuaría hasta alcanzar la temperatura eutéctica.

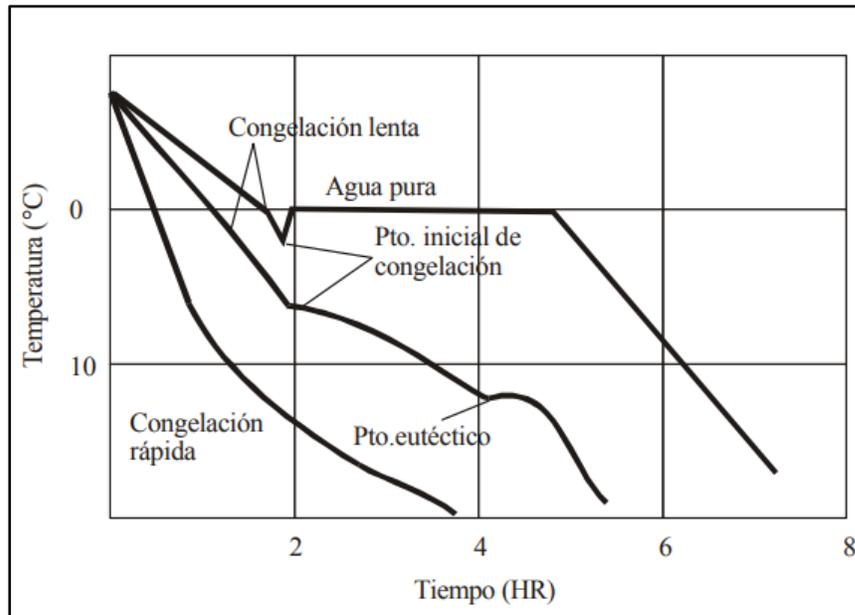


Figura 4. Visión esquemática de los procesos de congelación de una sustancia pura (agua) y de un alimento a dos velocidades de congelación (Orrego, 2008).

### a) Cristalización del agua

Un cristal puede definirse como un sólido formado por átomos, iones o moléculas, que guarda una distribución ordenada y repetitiva. La cristalización es un proceso donde se forman partículas sólidas a partir de una fase homogénea. El agua puede existir en varias formas cristalinas que dependen de la temperatura y la presión a la que esté sometida. A presión atmosférica, la congelación del agua se hace en cristales de estructura hexagonal. El tamaño y la estructura de los cristales de hielo dependen de la velocidad de enfriamiento utilizada y del grado de subenfriamiento del sistema (Orrego, 2008).

El proceso de cristalización comprende las etapas de nucleación y de crecimiento de cristales. La nucleación es la aparición de pequeños núcleos de hielo que sirven de sitio para el crecimiento cristalino y esta se produce siempre y cuando el sistema esté lo suficientemente subenfriado, el núcleo crece de tamaño hasta convertirse en un cristal de hielo. La velocidad de congelación influye directamente en el crecimiento de los cristales de hielo. Cuando la velocidad de congelación es baja, la nucleación es lenta, los núcleos cristalinos son pocos y estos son de mayor

tamaño, por el contrario, una velocidad de congelación alta forma un mayor número de agregados cristalinos y el tamaño de los cristales es menor (Figura 5).

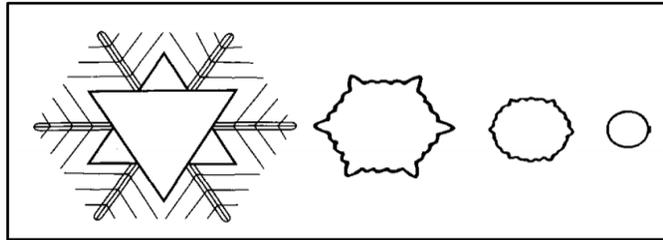


Figura 5. Crecimiento libre de cristales de hielo en agua, velocidad de congelación creciente de izquierda a derecha (Orrego, 2008).

### **b) Tiempo de congelación**

El tiempo de congelación de un alimento se calcula por medio de modelos con base a sus componentes, sobresaliendo aquellos que emplean la humedad, algunos han resultado muy efectivos para ciertos alimentos específicos. Por otro lado, durante casi cien años y partiendo de la ecuación de Plank, se han desarrollado varios modelos matemáticos para calcular el tiempo de congelación. De manera semejante, se han empleado fórmulas empíricas para la predicción de propiedades termofísicas en alimentos sin congelar o en productos congelados (Machado y Vélez, 2008).

El tiempo de congelación depende de la velocidad de congelación, la cantidad de calor que debe eliminarse, el empaque, el método de congelación, la temperatura inicial y final del alimento, el espesor y la composición. Numerosos modelos matemáticos han sido reportados que consideran la forma irregular, la composición química, el coeficiente de transferencia de calor y el tipo de medios de congelación utilizados. Las industrias generalmente aceptan una temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $0\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) en el centro térmico del alimento como un proceso de congelación eficiente (Hui et al., 2004).

Los factores que influyen en el tiempo de congelación de productos alimenticios son principalmente las características del alimento y las condiciones del equipo en el cual se llevará a cabo el proceso. Referente al alimento, es necesario

conocer su conductividad térmica, sus dimensiones, geometría y su temperatura inicial. De las condiciones del equipo, se debe de considerar el coeficiente convectivo de transferencia de calor, el medio de congelación y la temperatura a la cual se encuentra el equipo (Heldman y Hartel, 1997 citados por Gómez et. al, 2007).

La ecuación de Plank (Ecuación 1) se emplea para estimar el tiempo de congelación, dicha ecuación fue desarrollada para sistemas ideales.

$$t_f = \frac{\lambda\rho}{T_F - T_M} \left[ \frac{PL}{h} + \frac{RL^2}{k} \right] \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde  $\rho$  es la densidad del producto congelado,  $\lambda$  es el calor latente de fusión,  $h$  es el coeficiente convectivo de transferencia de calor,  $k$  es la conductividad térmica del producto congelado,  $P$  y  $R$  son las constantes dependiendo de las dimensiones y forma del producto,  $L$  es el espesor del producto (o la dimensión horizontal del mismo),  $T_M$  es la temperatura del medio de congelación y  $T_F$  es la temperatura inicial del producto.

La mayor limitante de la ecuación de Plank es que no considera la remoción gradual del calor latente durante la congelación. Además, la ecuación considera únicamente el punto inicial de congelación del producto y desprecia el tiempo requerido para remover calor sensible por arriba del punto inicial de congelación. Por último, se debe considerar una conductividad térmica constante para la congelación y que el producto consta en su totalidad de una fase líquida. Otros métodos analíticos disponibles son modificaciones de la ecuación de Plank, con énfasis en los desarrollos para superar las limitaciones a la ecuación original (Heldman y Singh, 2009).

Una ecuación alternativa al cálculo de tiempo de congelación es la ecuación de Nagaoka (1955) que incorpora factores empíricos. A pesar de que la ecuación de Nagaoka considera el calor sensible por encima y por debajo del punto inicial de congelación, la ecuación asume que todo el calor latente es removido a temperatura

constante. Su principal ventaja, es la incorporación de la temperatura final deseada y el ajuste del calor latente de fusión en función del contenido de agua del alimento.

$$t_F = \frac{\Delta H' \rho}{T_f - T_1} \left[ \frac{Ra^2}{K} + \frac{Pa}{h} \right] \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$\Delta H' = [1 + 0,00445(T_i - T_f)][c_1(T_i - T_f) + \lambda + c_2(T_f - T)] \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde  $\Delta H'$  es la entalpía del producto congelado, calculada a partir de la ecuación (3),  $\rho$  es la densidad del producto alimenticio,  $T_f$  la temperatura inicial de congelación,  $T_1$  la temperatura del medio,  $T_i$  la temperatura inicial,  $C_1$  calor específico del producto no congelado,  $C_2$  calor específico del producto congelado,  $\lambda$  el calor latente de fusión y  $T$  la temperatura final de congelación deseada para el producto.

### c) Velocidad de congelación

La velocidad de congelación determina la distribución y tamaño de los cristales en los tejidos. Si es lenta, serán grandes y aparecerán principalmente fuera de las células, generando su compresión mecánica, con consecuentes aplastamientos y ruptura de paredes. La concentración del "soluta" externo a las células, produce por ósmosis, la migración del agua hacia el exterior de la célula deshidratándola. Cuanto mayor sea la velocidad de congelación, el número de cristales incrementará, pero estos serán de menor tamaño, por el contrario, en una congelación lenta los cristales de hielo serán pocos, pero de mayor tamaño (Orrego, 2008). Se debe destacar que la congelación lenta puede conducir a un exudado excesivo durante la descongelación, mientras que una congelación rápida permite preservar la textura de los alimentos. Puesto que la cristalización depende de la velocidad de congelación conviene utilizar aquellos métodos de congelación que lleven a cabo el proceso en el menor tiempo posible.

## 1.5 Verduras congeladas

El Codex Alimentarius define a las verduras congeladas rápidamente de la siguiente manera:

- a) Preparadas a partir de hortalizas sanas, frescas congeladas que hayan alcanzado un grado de madurez adecuado para su elaboración. Deberán ser lavadas y preparadas correctamente, según el producto a elaborar, pero sin que se eliminen ninguno de sus elementos característicos esenciales. Según el tipo de producto a elaborar, pueden someterse a operaciones de lavado, pelado, clasificación (calibrado/cribado/tamizado), corte, escaldado/desactivación enzimática, etc.
- b) Que han sido sometidas a un proceso de congelamiento rápido, manteniendo una temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$  o inferior en todos los puntos de la cadena de frío, sujetos a las tolerancias de temperatura permitidas.

En la tabla 3 se muestra la composición química de la zanahoria, el chícharo y el elote; cabe destacar que son alimentos con alto contenido de agua, ricos en carbohidratos y fibra.

Tabla 3. Composición química de zanahoria, chícharo y elote (FEN, 2017; ASHARE, 2002). \*Por cada 100g de porción comestible

	Zanahoria	Chícharo	Maíz
Energía (kcal)*	40	80	377
Proteínas (g)	0.9	5.3	3.22
Lípidos totales (g)	0.2	0.4	1.18
Carbohidratos (g)	7.3	10	19.02
Fibra (g)	2.9	7.8	2.7
Agua (g)	88.7	76.5	75.96
Minerales (mg)	434	520.4	850

Las verduras congeladas tienen ciertas ventajas: logran preservar su calidad durante largos periodos, la congelación altera mínimamente las características del producto, presentan mejores atributos de sabor y color que los alimentos enlatados y están disponibles durante todo el año.

### **1.5.1 Proceso de elaboración de mezcla campesina de verduras congeladas**

Descripción del proceso:

- a) Recepción: Después de realizar la compra de las verduras en el mercado local, estas se trasladaron al laboratorio procurando en todo momento un cuidadoso manejo para evitar daños mecánicos.
- b) Clasificación: Durante la clasificación las verduras que presentan daños y están infectadas por insectos son descartadas.
- c) Lavado: En esta etapa se remueve polvo, suciedad, rocas. El lavado se puede realizar por inmersión en agua o aspersion.
- d) Pelado: Consiste en retirar el tejido externo del vegetal, consiguiendo mejorar el aspecto.
- e) Cortado: las verduras son fragmentadas en trozos, según sea la presentación del producto, buscando fragmentos de tamaño homogéneo.
- f) Desgranado: Se retiran los granos de maíz de la mazorca.
- g) Escaldado: El escaldado es un tratamiento térmico comúnmente aplicado en frutas y vegetales como etapa previa a otras operaciones como la congelación, enlatado, liofilización o secado. Comúnmente los productos son brevemente sumergidos en agua entre 85 y 100 °C o con vapor a 100 °C. El objetivo principal es inactivar enzimas responsables de la alteración de los atributos sensoriales y nutricionales. Hay dos enzimas ampliamente distribuidas en diversas plantas que son resistentes al calor: la peroxidasa y la catalasa (Da Wen, 2012 y Orrego, 2003). La operación consiste en sumergir las verduras en agua caliente a 90°C por 3 minutos.

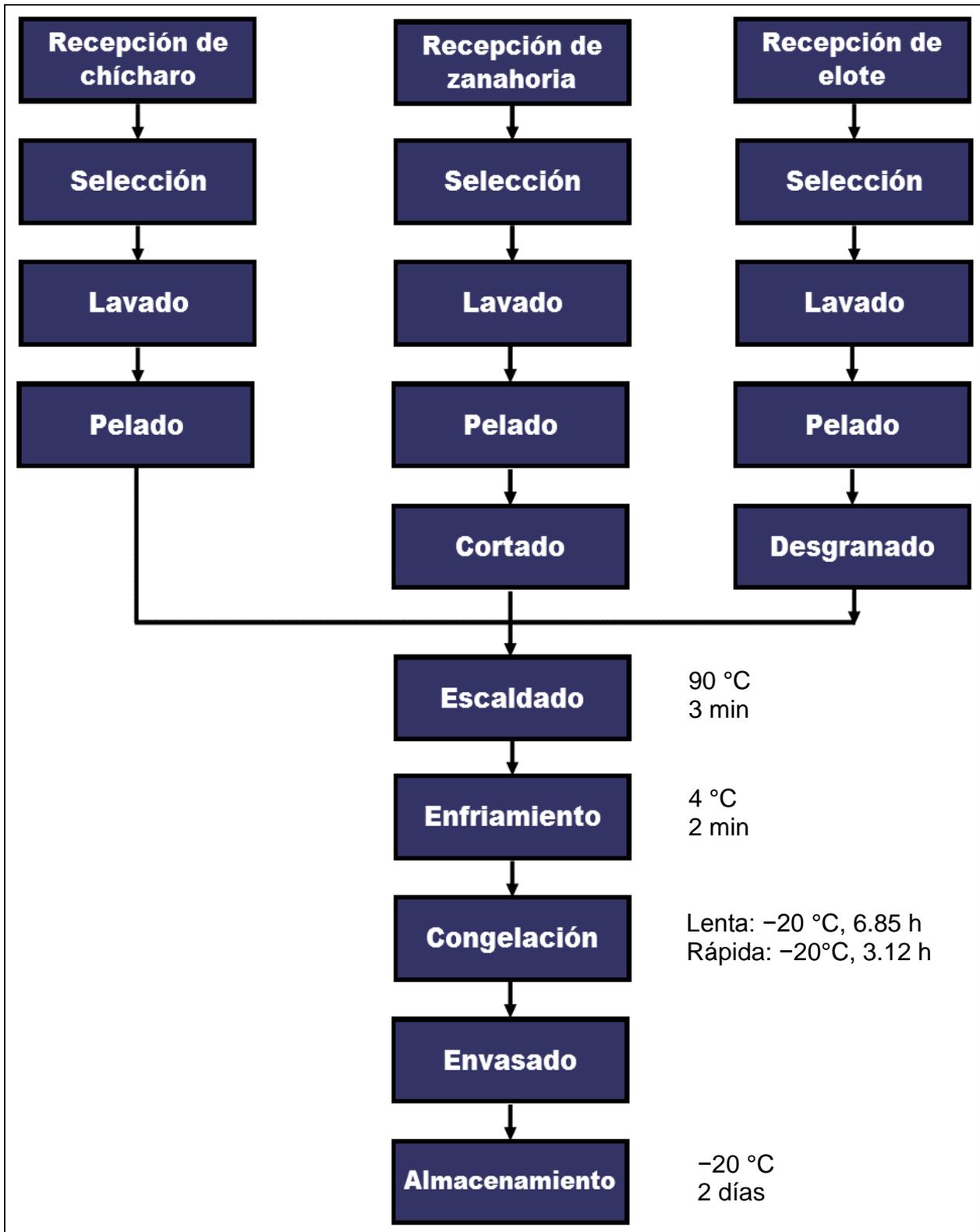


Figura 6. Diagrama del proceso de elaboración de mezcla campesina de verduras congeladas. Adaptado de Hui et al. (2004).

- h) Enfriamiento: Después del escaldado el producto se enfría por inmersión en agua fría. Congelación: Operación crítica de este proceso; descenso de la temperatura por debajo del punto de congelación, el método de congelación depende de las características del producto.
- i) Envasado: Después de la congelación las verduras se envasan en bolsas de polietileno.
- j) Almacenamiento: Después de la congelación el producto debe almacenarse a temperaturas de congelación para conseguir su estabilidad.

### **1.5.2 Factores que afectan la calidad de las verduras congeladas**

La vida útil de los productos congelados es mayor cuanto más bajas son las temperaturas de almacenamiento, y suelen recomendarse temperaturas de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  o inferiores para el almacenamiento a largo plazo de verduras congeladas. Las fluctuaciones de temperatura durante el almacenamiento pueden reducir la vida útil de los alimentos congelados. Al fluctuar la temperatura suelen acelerarse los procesos físicos, especialmente aquellos en los que se produce movimiento de agua. Esto puede observarse, por ejemplo, en la movilización de la humedad en los envases. Las fluctuaciones de temperatura conducen a una rápida acumulación de agua sobre las superficies internas del envase y pueden acelerar el crecimiento de cristales de hielo en el seno del producto. Las judías verdes sometidas incluso a una exposición relativamente corta a temperaturas superiores a las de subcongelación pueden presentar diferencias apreciables de color (en comparación con producto testigo bien mantenido). Este hecho que favorece la degradación de color puede producirse también en otras verduras. En consecuencia, resulta aconsejable mantener bien controlado el almacenamiento a bajas temperaturas, y evitar las fluctuaciones de temperatura. El efecto de la variación de temperatura depende de la sensibilidad de los atributos de calidad ante los cambios de temperatura y de la frecuencia y duración de las fluctuaciones que experimenta la temperatura (Arthey, 1992).

La calidad de los alimentos congelados depende en gran medida de sus condiciones de almacenamiento. Las fluctuaciones de la temperatura de almacenamiento causan graves deterioros; entre los factores que se afectan están la degradación de pigmentos, proteínas y vitaminas, oxidación de lípidos y reacciones que promueven exudación al descongelar (Orrego, 2003). La pérdida de calidad en las verduras congeladas se debe principalmente a cambios físicos, químicos y sensoriales y estos cambios son de mayor magnitud durante el almacenamiento que durante el proceso de congelación.

Antes del proceso de congelación se busca la destrucción de enzimas que afectan el color, sabor y contenido vitamínico. Para establecer el tiempo de escaldado normalmente se usa la ausencia de actividad enzimática como indicador. Se realiza la medición de la actividad peroxidasa como indicador de la efectividad del proceso debido a la alta resistencia al calor de esta enzima, sí la actividad enzimática decrece en un 95% después del escaldado, este se considera adecuado. Algunos estudios han mostrado que la actividad de la peroxidasa residual tiene poco efecto sobre la calidad de vegetales congelados (Hui et al., 2004). De este modo se han determinado valores recomendables para el tiempo de escaldado, en este sentido, para la actividad de la peroxidasa, diversos estudios comparativos en chícharos congelados (Da-Wen, 2012) mostraron que aquellos chícharos sometidos a un escaldado a 70°C por 2 minutos presentaban inactivación de la enzima lipoxigenasa mayor al 90%, el mismo resultado se conseguía en la enzima peroxidasa al escaldar los chícharos a 90°C por 3 minutos.

#### **a) Modificaciones durante el proceso de congelación**

Procesar los alimentos destruye la estructura citoplasmática, produciendo pérdida de turgencia y debilidad en la pared celular. Estos cambios dan lugar a cambios importantes en la textura de las verduras, que es el factor más importante en la calidad de las verduras congeladas desde el punto de vista del consumidor (Hui et al., 2004). Otro factor importante es el daño mecánico ocasionado por la formación de cristales de hielo, con ello la pared celular se daña. Es importante mencionar que la congelación provoca cambios de contracción y expansión del

volumen del alimento, asociados con la transición agua-hielo, estos cambios de volumen influyen igualmente en los atributos texturales.

Si el producto no está protegido por un embalaje impermeable durante el proceso de congelación, es inevitable que una cierta proporción de agua contenida se evapore por la corriente de aire frío; esta proporción es tanto menor cuanto más rápida sea la congelación, esta pérdida de humedad puede variar del 1 al 2% (IIF, 1990).

El principal efecto de la congelación sobre la calidad de los alimentos es el daño que ocasiona en las células el crecimiento de los cristales de hielo. La congelación prácticamente no provoca deterioro desde el punto de vista nutritivo. La resistencia de diversos tejidos animales y vegetales a la congelación es muy diversa; así, frutas y vegetales, por ejemplo, presentan una estructura muy rígida por lo que la formación de los cristales de hielo puede afectarlos con mayor facilidad que a las carnes. La congelación de los tejidos se inicia por la cristalización del agua en los espacios extracelulares puesto que la concentración de solutos es menor que en los espacios intracelulares (Umaña, 2011).

Los alimentos congelados presentan un aumento de volumen debido a la menor densidad del agua congelada en relación con el agua líquida. La dilatación de los alimentos provoca desgarraduras internas en los tejidos. Por ello, cuando el consumidor descongela los alimentos para consumirlo hay pérdida de líquido. Los cristales de hielo producidos en la congelación provocan daños mecánicos en los tejidos, los alimentos no recuperan su forma y textura original, los tejidos se ablandan y liberan agua durante la descongelación. Estos efectos son más visibles cuando el alimento fue tratado por congelación lenta, que por congelación rápida.

### **b) Cambios durante el almacenamiento**

La pérdida de humedad durante el almacenamiento de los alimentos congelados es un problema más grave a razón del tiempo transcurrido. Los embalajes impermeables al vapor de agua y en riguroso contacto con los productos

evitan la pérdida de agua. Cuando el producto no está en contacto con los materiales de embalaje, la capa de aire entre el producto y el embalaje está sometida a las variaciones de temperatura, cuando la temperatura exterior disminuye, la cara interna del embalaje está más fría que el producto y el hielo se sublima, condensándose en forma de escarcha al interior del envase; cuando la temperatura exterior aumenta el proceso es el inverso y el vapor de agua condensa en la superficie del producto (IIF, 1990).

Es bien sabido que, durante el almacenamiento congelado, el número de cristales de hielo se reduce, mientras su tamaño incrementa, esto se debe principalmente a la fluctuación de temperatura y a la migración de vapor de agua del alimento a la superficie del envase, cuando esta agua vuelve a congelar da lugar al fenómeno de recristalización (Orrego, 2008). Los cambios de forma y tamaño de los cristales de hielo son causados por variaciones periódicas de temperatura experimentadas durante el almacenamiento.

### **1.5.3 Cambios en la calidad de las verduras congeladas**

De manera general, durante el almacenamiento los productos presentan una pérdida gradual de la calidad, acumulativa e irreversible, que resulta de los distintos efectos individuales o combinados de las modificaciones físicas, fisicoquímicas, químicas y bioquímicas (IIF, 1990).

- a) Alteraciones químicas y bioquímicas: Estos cambios son de origen enzimático, pueden resultar de reacciones diversas (hidrolisis, esterificación, oxidación, peroxidación) que provocan cambios de color, de aroma y de textura.
- b) Alteraciones físicas: Las modificaciones físicas proceden sobre todo de la deshidratación, puede ser dominada o al menos reducida mediante un embalaje adecuado o a una temperatura de almacenamiento suficientemente baja y constante.
- c) Alteraciones fisicoquímicas: las modificaciones fisicoquímicas se deben esencialmente a la concentración de los líquidos tisulares que resultan de la congelación. Puede originarse durante el almacenamiento, una

desnaturalización de las proteínas y, en consecuencia, un aumento del exudado al descongelar.

- d) Cambios de color: La formación de pigmentos pardos resultante de una oxidación enzimática de precursores fenólicos incoloros, esto ocurre principalmente cuando hay magullamientos u operaciones de troceado y el fenómeno puede proseguir incluso durante el almacenamiento en estado congelado si no se inactivan las enzimas.
- e) Modificaciones en la textura: Se manifiesta con la pérdida de turgencia en la descongelación, con un aspecto flácido del producto. Se atribuye este defecto a las modificaciones de las paredes celulares debidas a diversos procesos físicos y fisicoquímicos durante la congelación. Para las hortalizas, el escaldado debilita sensiblemente la textura, pero los cambios que se producen durante la congelación y el almacenamiento son relativamente reducidos. Sin embargo, sí la hortaliza se congela cruda o si esta insuficientemente escaldada, la acción enzimática sobre las sustancias pécticas puede conducir a cambios de textura inaceptables.
- f) Cambios en la concentración de los nutrientes: La pérdida de vitaminas en la congelación de frutas y verduras es generalmente baja. No obstante, el ácido ascórbico puede desaparecer si el producto es almacenado durante largos periodos por encima de  $-18^{\circ}\text{C}$  o si la descongelación se efectúa en malas condiciones en cuanto a su duración y temperatura. Las otras modificaciones que presentan los nutrientes (proteínas notablemente) en el curso del escaldado o de la congelación no tiene efecto sensible sobre el valor nutricional de verduras congeladas.

En concreto el aroma, el sabor, el color y la textura son los atributos más importantes en la aceptación de vegetales congelados. Por ello, estos cambios son evaluados para monitorear la calidad de las verduras congeladas.

#### **1.5.4 Recristalización**

La recristalización se define como cualquier cambio en el número, el tamaño, la forma, la orientación o la perfección de cristales de hielo después de finalizada la

solidificación inicial. La recrystalización es el proceso en el cual, con el paso del tiempo, el promedio de tamaño de los cristales de hielo aumenta y su número disminuye por efecto de la redistribución del agua desde los pequeños cristales de hielo hacia los grandes (Orrego, 2008).

La descongelación seguida de una nueva congelación determinará probablemente cambios de consistencia por formación de cristales de hielo grandes y deshidratación de los tejidos externos de las verduras, y por la formación de hielo en el interior del envase como resultado de la condensación producida durante el transporte a casa (Arthey, 1992). La recrystalización también puede ocurrir cuando la temperatura de almacenamiento fluctúa, los cristales de hielo pequeños son los más susceptibles a fusionarse. Esta agua no congelada volverá a cristalizar, pero no formará de nuevo núcleos, sino que congelará en la superficie de los cristales más grandes.

Los procesos perjudiciales de recrystalización pueden limitarse si se procura desde el principio la obtención de una velocidad de congelación homogénea en las diferentes capas del objeto, lo que lleva a igualdad en las dimensiones de los cristales. Otro procedimiento consiste en disminuir las diferencias de presión de vapor de cristales de hielo de diferente tamaño y, con esto, hacer más lenta la recrystalización, consiste en el empleo de una temperatura de almacenaje lo más baja posible (Plank, 1984).

## **1.6 Métodos y equipos de congelación**

Las verduras pueden congelarse por varios métodos: ráfaga de aire, de contacto directo y de contacto indirecto. Una forma de clasificar a los métodos de congelación es por contacto directo e indirecto (Holdsworth, 1988), esta clasificación, así como los principales equipos empleados se muestran en la Figura 7. En la elección del equipo de congelación, es importante considerar que los métodos de congelación rápida ofrecen beneficios frente a la congelación lenta, desde luego, se logra la reducción del tiempo de congelación, hay menor pérdida

de humedad, sabor y el tamaño de cristal de hielo es pequeño, disminuyendo el daño celular.



Figura 7. Equipos de congelación (Holdsworth, 1988).

- a) Contacto indirecto: Se pueden usar distintos medios para congelar indirectamente como aire, líquidos o mediante el contacto con superficies frías. Esta técnica comprende principalmente congeladores de aire forzado, de lecho fluidizado, de tambor rotatorio y congeladores de placas, estos últimos son capaces de congelar alimentos empacados, a través de este procedimiento, se puede congelar y retirar de forma mecánica y continua el producto.
- Congeladores de aire forzado: Se usan temperaturas entre  $-18^{\circ}$  y  $-40^{\circ}\text{C}$ , si el aire no se hace circular se producen velocidades de enfriamiento muy bajas (3 a 72 horas dependiendo del tamaño del alimento). Cuando se usa circulación se manejan velocidades de aire entre 5 y 20 m/s. La operación puede ser un simple proceso discontinuo o, más frecuentemente un proceso continuo que utiliza una cinta de acero inoxidable movida por un motor en un túnel o en un sistema en espiral.
  - Congeladores de lecho fluidizado: Este método de congelación se emplea sobre todo para frutas y verduras en trozos. El método consiste en una cinta móvil perforada o una plancha fija perforada a través de cuyos orificios penetra un chorro de aire con la velocidad suficiente para asegurar que las

unidades se mantengan suspendidas de forma que estas se congelan individualmente.

- Congeladores de placa y tambor: El congelador de placas consiste en una serie de placas refrigeradas dispuestas de forma horizontal o vertical. El producto a enfriar ya sea a granel, o envasado, se coloca entre las placas que son cerradas hidráulicamente para conseguir un buen contacto térmico entre el producto y la superficie fría. Por otra parte, el congelador de tambor rotatorio es enfriado internamente con un refrigerante a una temperatura de  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El tambor gira a una velocidad suficientemente lenta para permitir que el producto se congele en el tiempo que tarda en dar una vuelta casi completa, momento en que se desprende de la superficie.
- b) Contacto directo. Mediante inmersión o exposición a duchas de líquidos refrigerantes como propilenglicol, glicerol, cloruro de calcio y mezclas de soluciones azucaradas y salmueras. Un tipo de congelación que usa este esquema es la congelación con líquidos criogénicos (nitrógeno líquido y dióxido de carbono, líquido o sólido). Los criogénicos usan el contacto directo con el alimento y utilizan gas carbónico o nitrógeno líquido.
- Nitrógeno líquido: Este gas licuado es inerte, no tóxico, insípido y no conduce a la aparición de sabores extraños cuando se pone en contacto con alimentos. Las mayores ventajas atribuidas a la congelación por nitrógeno líquido son: mejora de calidad, mínimas lesiones celulares y por consiguiente menores pérdidas por goteo, pérdidas reducidas de humedad, pequeñas necesidades de espacio, alto grado de versatilidad y escaso costo de mantenimiento.
  - Hidrocarburos halogenados: El diclorodifluorometano es el único compuesto en este grupo que se utiliza en contacto directo con el alimento. Tiene la ventaja de recuperarse por condensación y reutilizarse. El sistema continuo trabaja de tal forma que cuando se ha distribuido el producto uniformemente sobre la cinta se asperja el refrigerante sobre él. Los residuos finales del

refrigerante se eliminan pasando un chorro de aire caliente sobre la superficie del producto.

- Dióxido de carbono: A presión atmosférica el dióxido de carbono líquido tiene una temperatura de  $-78.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pero cuando se asperja sobre el alimento se deposita en forma de nieve fina. Debido a su elevado calor de vaporización, es muy eficaz como medio de congelación. En la actualidad este método no tiene comercialmente una gran aplicación para la congelación de frutas y verduras.

De los métodos de congelación mencionados anteriormente, las verduras pueden ser congeladas por túnel estacionario, tambor rotatorio o lecho fluidizado si están a granel, en caso de que las verduras estén empacadas es conveniente utilizar un congelador en espiral o un congelador de placas horizontales o verticales.

### **1.7 La cadena del frío**

Las etapas más importantes del almacenamiento y cadena de distribución de alimentos congelados según (Holdsworth, 1988), son las siguientes:

- a) Cámara frigorífica de maduración del producto a  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- b) Vehículo de distribución a  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- c) Cámara frigorífica de distribución a  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- d) Vehículo de distribución a  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- e) Almacén general para la venta al por menor a  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- f) Vitrinas expositoras de establecimientos de venta al por menor, a  $-23^{\circ}\text{C}$
- g) Congelador doméstico a  $-10^{\circ}\text{C}$  hasta  $-20^{\circ}\text{C}$

El establecimiento de una cadena de alimentos congelados implica el desarrollo de almacenes capaces de alcanzar bajas temperaturas, vehículos de transporte refrigerados y vitrinas expositoras para venta al por menor.

Los vendedores al por menor de productos congelados deben poseer grandes congeladores del tipo horizontal que se abren por la parte superior. Estos son ideales para este tipo de venta, cuidando que no permanezcan abiertos mucho

tiempo. Sin embargo, en las grandes cadenas de autoservicio en las que los productos se venden por atracción visual, es necesario refrigeradores de acceso abierto. La mayoría de las tiendas de autoservicio utilizan sistemas de fondo profundo con la parte superior abierta en los que el aire circula entre los productos. Son los más satisfactorios cuidando que los productos congelados se sitien por debajo de la línea de almacenamiento y que ningún producto este expuesto a temperatura ambiente.

El último eslabón de la cadena del frío lo constituyen los consumidores individuales. Los productos congelados adquiridos deben introducirse con la mayor rapidez posible en el compartimiento congelador del frigorífico familiar. Los productos congelados en envases al por menor se descongelan en 2 a 3 horas (Gruda, 1986).

- a) Manipulación y empleo por el consumidor: Industriales y detallistas realizan esfuerzos considerables para asegurar que los alimentos lleguen a los consumidores en las mejores condiciones posibles. Sin embargo, la forma en que los productos son manipulados, almacenados y utilizados en los hogares puede influir sobre su calidad, particularmente en los productos refrigerados o congelados que dependen del control de la temperatura para mantener su inocuidad. Para mantener la calidad hasta el momento del consumo, es interesante que los fabricantes eduquen y estimulen a los consumidores para que mejoren y conozcan la forma correcta de manipular, almacenar y utilizar los productos en casa. Las fluctuaciones de temperatura durante el transporte a casa desde el punto de venta y el subsecuente almacenamiento en el equipo frigorífico doméstico pueden conducir a cambios adversos en la calidad.
- b) El almacenamiento frigorífico doméstico: La encuesta nacional INCA de consumo de alimentos llevada a cabo en Francia (Evans, 2008), respecto a el manejo de alimentos congelado durante el transporte a casa, reveló que:

- Ciertos consumidores dejan los alimentos congelados a temperatura ambiente por largos periodos, 35% de los encuestados dejan los congelados por menos de 15 min, 55 % entre 15 y 45 min y el 5 % por más de 45 min. El tiempo que transcurre entre la compra y el almacenamiento en el congelador doméstico, depende de la distancia entre la tienda y casa.
- Los consumidores no realizan mantenimiento a sus equipos frigoríficos.
- Los consumidores no toman precauciones en el manejo de alimentos congelados.

Por otro lado, una encuesta realizada en los congeladores domésticos de los Estados Unidos (Evans, 2008), reveló que un 11 % de los congeladores están a una temperatura por arriba de los  $-7^{\circ}\text{C}$ , el 22 % entre  $-7$  y  $-12^{\circ}\text{C}$ , el 37% entre  $-12$  y  $-18^{\circ}\text{C}$  y solo el 30 % de los congeladores se encuentran por debajo de los  $-18^{\circ}\text{C}$ , temperatura recomendada para la conservación de alimentos congelados. Los motivos de una alta temperatura del congelador son: un mal ajuste del termostato, los paros y arranques del compresor del equipo, la constante abertura y cierre de la puerta del frigorífico, la carga térmica excede la capacidad del equipo, entre otros. Adicional a la exposición a temperatura ambiente en el transporte a casa de los alimentos congelados, estos son almacenados a temperaturas por arriba de la recomendada comprometiendo su calidad y seguridad.

- c) La descongelación previa al consumo: Durante la descongelación, las células son incapaces de recuperar su forma y turgencia originales y el alimento se reblandece. Las pérdidas de nutrientes durante la descongelación dependen de la cantidad de exudado; este contiene vitaminas hidrosolubles, las materias minerales y los aminoácidos. En todos los casos en los que se pueda utilizar el exudado al mismo tiempo que el producto, se recomienda no tirarlo sino incluirlo en el proceso de preparación, para intentar reducir en lo posible la pérdida de nutrientes.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

#### **2.1 Problema**

Las rupturas en la cadena de frío representan importantes pérdidas económicas para las empresas alimentarias. Por lo que éstas realizan esfuerzos coordinados con todos los agentes involucrados en la cadena para garantizar la calidad y seguridad de un alimento. Sin embargo, un problema crítico de la cadena de frío se presenta cuando el consumidor final toma el producto de un equipo refrigerado de venta y exhibición para realizar el transporte desde la tienda de autoservicio hasta el hogar, inevitablemente la cadena del frío se rompe en este punto, adicionalmente, el consumidor suele realizar otras actividades después de hacer las compras en las tiendas de autoservicio, prolongando el tiempo que los congelados pasan fuera del almacenamiento frigorífico, conduciendo a la descongelación del producto y a la subsecuente pérdida de atributos de calidad: sabor, color y textura, además se generan cambios de pH, pérdida de agua y recristalización debido a la descongelación parcial. Por otro lado, la cristalización es función de la velocidad de congelación cuanto mayor sea la velocidad de congelación, el número de cristales incrementará, pero estos serán de menor tamaño, por el contrario, en una congelación lenta los cristales de hielo serán pocos, pero de mayor tamaño. En la práctica conviene utilizar un método de congelación rápido para preservar las características de frescura y calidad de los alimentos congelados. Es importante estudiar las condiciones del manejo de una mezcla campesina de verduras congeladas durante el transporte a casa y el almacenamiento frigorífico doméstico para determinar la pérdida de atributos de calidad, así mismo, conocer el método de congelación más susceptible a daños consecuencia de la variación de temperatura.

## **2.2 Objetivo general y objetivos particulares**

### **a) Objetivo general:**

Evaluar el efecto del manejo a bajas temperaturas de verduras congeladas (mezcla campesina) en sus atributos fisicoquímicos y texturales, estableciendo el grado de deterioro del producto durante la etapa de venta al detalle-consumo de su cadena del frío.

### **b) Objetivos Particulares:**

1. Analizar el efecto de la aplicación de una variación de temperatura normal y severa en la etapa de venta al detalle y consumo en mezclas campesinas de verduras congeladas sobre la pérdida de atributos de calidad fisicoquímicos y texturales durante el almacenamiento frigorífico doméstico en congelación.
2. Determinar el efecto de una congelación controlada en una mezcla campesina de verduras sobre la pérdida de atributos de calidad fisicoquímicos y texturales durante el almacenamiento frigorífico doméstico en congelación.
3. Analizar la aplicación de la variación de temperaturas sobre los atributos fisicoquímicos y texturales de la mezcla campesina de verduras comercial y una mezcla campesina en congelación controlada.

## **2.3 Variables y diseño experimental**

Se realizó la compra del producto comercial en la tienda de autoservicio Soriana de Cuautitlán, Estado de México, teniendo como requisito que el equipo frigorífico de exhibición de la tienda almacenara las verduras a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En tanto que para el producto de elaboración propia se requirió del mercado local chícharos, zanahorias y granos de maíz en buenas condiciones físicas y de madurez procurando seleccionar unidades de tamaño y color homogéneo. La mezcla campesina de verduras comercial y la mezcla campesina en congelación lenta (convección natural) y rápida (convección forzada de aire) se sometieron a una variación normal (30 min de exposición a T ambiente) y severa de temperatura (45

min de exposición a T ambiente), midiendo sus atributos de calidad al tercer y sexto día de almacenamiento frigorífico doméstico. Las variables más importantes en el manejo de la mezcla campesina de verduras congeladas fueron el tipo de congelación, la variación de temperatura y el tiempo de almacenamiento. En la tabla 4 se muestran los factores y niveles de variación de cada una de las variables, así como las variables dependientes y los instrumentos de medición necesarios. Cada una de las pruebas se realizó por triplicado.

Tabla 4. Factores y niveles de variación.

<b>Factor de variación</b>	<b>Nivel de variación</b>	<b>Número de repeticiones</b>	<b>Variable dependiente</b>	<b>Variable de respuesta</b>	<b>Técnica o instrumento de medición</b>
Tipo de congelación	•Congelación rápida	3	Pérdida de agua	Líquido drenado	Balanza digital
	•Congelación lenta		pH		Potenciómetro
Variación de temperatura en el transporte y almacenamiento frigorífico	•Producto comercial		Textura	Dureza	Texturómetro CT3 Brookfield
	•Variación normal		Color	L,a y b	Agro-colorímetro Apollinaire
Tiempo de almacenamiento	•Variación severa		Escarcha formada en la superficie		Microscopía
	•3 días				
	•6 días				

## 2.4 Actividades preliminares

### 2.4.1 Caracterización y acondicionamiento del equipo de congelación

El equipo utilizado fue un congelador horizontal de uso comercial marca *Frigidaire*, modelo FFC-0923DW4 de 200 L de capacidad, con dimensiones externas de 104x86.5x55 cm y dimensiones internas de 91x73x41.5cm como se muestra en la Figura 8.

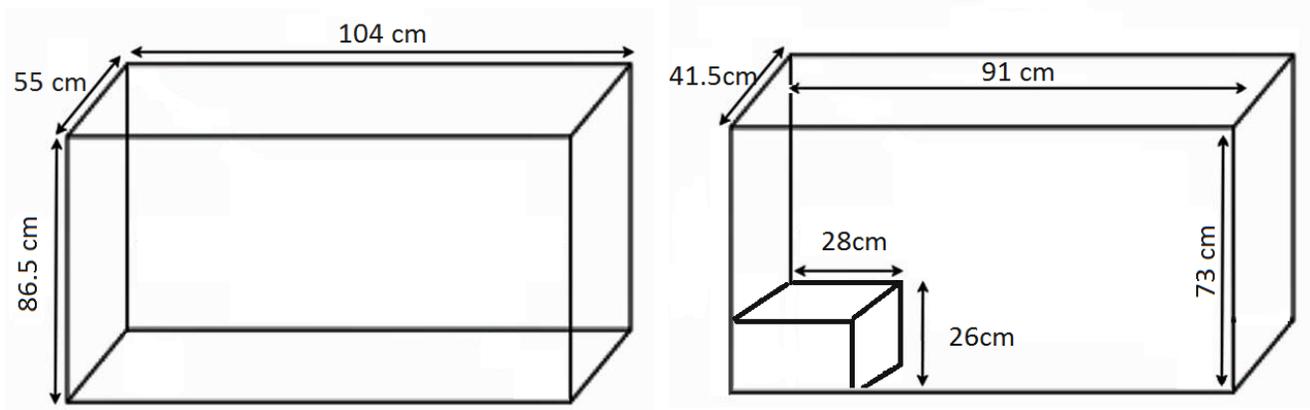


Figura 8. Dimensiones Congelador Frigidaire.

Con el fin de aprovechar el equipo de congelación se buscó el espacio más frío, realizando mediciones de temperaturas en cada una de las paredes con un termómetro láser de *Extech Instruments* modelo 42510 A y en la parte central del espacio frío con un termómetro *Hanna Checktemp 1*, como se muestra en la Figura 9.

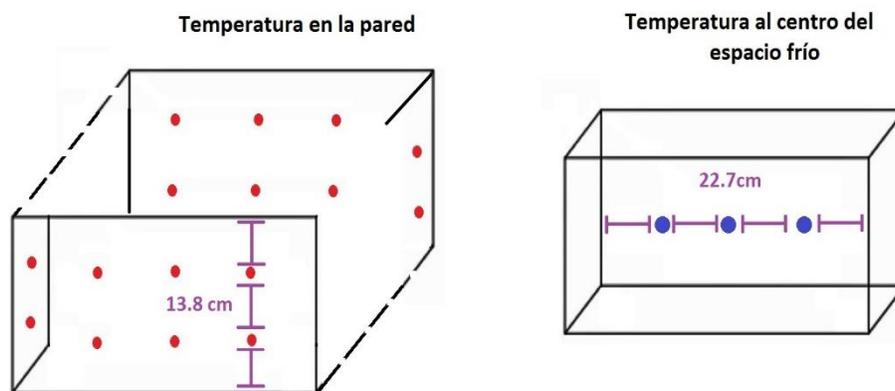


Figura 9. Mediciones de temperatura.

Posteriormente se acondicionó el congelador (ver Figura 10) para realizar la congelación rápida, utilizando un ventilador *Duracraft* y encajonando el aire en el espacio más frío; se verificó la velocidad del aire con un anemómetro *Testo* modelo 405-V1 y la temperatura del medio.



Figura 10. Acondicionamiento del congelador.

#### 2.4.2 Caracterización del congelador doméstico

Con el fin de conocer las condiciones de almacenamiento del congelador doméstico vertical marca White-Westinghouse se registró la temperatura con un *Data Logger* de *Lascar Electronics Inc.* modelo EL-USB-2 cada 30 minutos. Además, para tener un control de las aberturas de puerta del congelador y el efecto que estas pudieran tener en la fluctuación de temperatura se llevó a cabo el registro de cada evento en un formato que contiene la fecha, hora y tiempo estimado de abertura.

#### 2.4.3 Pruebas preliminares al producto comercial y a la materia prima

Se realizaron pruebas al producto comercial, se determinó el espacio libre de cabeza de la bolsa (Figura 11), se midió el tamaño de los componentes en 50 g de muestra y se cuantificó la proporción de zanahoria, chícharo y elote que contiene la mezcla campesina de verduras (Figura 12), obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 5:

Tabla 5. Proporción de los componentes de la mezcla campesina.

Componente	Tamaño promedio	Proporción
Zanahoria	Cubos de 8.5 mm	38.5%
Chícharo	Diámetro de 8.67 mm	33.5%
Elote	Granos de 9.3 mm de alto	28%



Figura 11. Espacio libre de cabeza del producto comercial.



Figura 12. Componentes de la mezcla campesina de verduras.

En cuanto a la materia prima, se midió el rendimiento para la posterior elaboración de la mezcla campesina propia, los resultados se muestran en la Tabla 6. Se elaboró la mezcla de verduras congeladas, destacando que el escaldado se realizó a 90 °C por 3 minutos, posteriormente la mezcla se enfrió por inmersión en agua a 4 °C.

Tabla 6. Rendimiento de la zanahoria, el chícharo y el elote.

Zanahoria		Elote		Chícharo	
Peso de la zanahoria	395 g	Peso de la mazorca	239.4 g	Peso del chícharo con vaina	257 g
Peso de la zanahoria sin extremos y sin piel	310.7 g	Granos de elote	119 g	Peso del chícharo sin vaina	90 g
Rendimiento	78.66%	Rendimiento	49.7%	Rendimiento	35.02%

La mezcla campesina puede congelarse en charola o ya envasado en bolsas de polietileno. Para conocer la forma más rápida de congelar el producto, este se congeló en charola y envasado (Figura 13) registrando la temperatura del producto con un medidor de termopares *Digi-Sense* EW-20250-03 y la temperatura del medio con un termómetro *Hanna* en el espacio frigorífico.



Figura 13. Prueba previa congelación en charola y en bolsa.

## **2.5 Materiales y métodos**

### **2.5.1 Material biológico y control de materia prima**

La mezcla campesina de verduras congeladas compuesta de zanahoria, chícharo y elote se elaboró conforme al proceso declarado en la figura 4. La materia prima fue comprada en el Mercado Negro de Cuautitlán, Estado de México. Se eligieron aquellas hortalizas en buenas condiciones físicas y de madurez procurando seleccionar unidades de tamaño y color homogéneo. Las verduras fueron procesadas en el laboratorio 16 de la Unidad Multidisciplinaria de Investigación de la FESC Campo 4; las verduras fueron debidamente lavadas, desinfectadas, peladas y cortadas.

#### **a) Escaldado**

El escaldado de los diferentes componentes de la mezcla campesina se llevó a cabo a 90 °C/3 min, tomando en consideración el tiempo requerido por los chícharos, producto que requiere condiciones tiempo-temperatura más elevadas. Se utilizó una proporción de 750 ml de agua por cada kilogramo de producto.

Inmediatamente después de terminar el escaldado la mezcla se enfrió por inmersión en agua fría a 4 °C.

### b) Congelación

La congelación se realizó en una charola de acero con capa antiadherente de dimensiones de 24x34cm (Figura 14) tanto en congelación lenta (convección natural), como en congelación rápida (convección forzada de aire). Se midió la temperatura durante el proceso empleando un medidor de termopares *Digi-Sense* EW-20250-03 al centro geométrico de un cubo de zanahoria, así mismo, se registró la temperatura del medio. El proceso se detuvo hasta que el alimento alcanzó los -20°C y posteriormente se envasó en bolsas de polietileno de media densidad con capacidad de 60g, con base al espacio libre de cabeza del producto comercial, a estas se le asignaron las dimensiones que se muestran en la Figura 15. Para lograr la estabilidad del producto se almacenó por 2 días.



Figura 14. Charola para congelación.



Figura 15. Medidas bolsa de polietileno de media densidad.

## **2.5.2 Variación de temperatura**

Se reprodujo el recorrido que hace el consumidor cuando realiza la compra de verduras congeladas en las tiendas de autoservicio, considerando la temperatura del equipo de venta y la temperatura ambiente de la tienda de autoservicio. La mezcla campesina de verduras congeladas se sometió a dos situaciones de variación de temperatura: normal y severa (Tabla 7).

Evidentemente en la condición de variación severa la mezcla de verduras permaneció mayor tiempo a temperatura ambiente, antes de ser almacenadas en el congelador doméstico. Se midió la variación de temperaturas en la mezcla de verduras durante el recorrido desde la tienda de autoservicio hasta el congelador doméstico y durante el almacenamiento de las verduras al tercer y sexto día con un *Smart Button* de ACR Systems Inc.

### **a) Condición normal de variación de temperatura**

#### **Descripción:**

Las verduras congeladas son extraídas del equipo de venta y exhibición entre 30 s y 1 min para ser evaluados por el consumidor, después son devueltas a el equipo refrigerado (en estos instantes el producto se somete a temperatura ambiente de la tienda de autoservicio). Esto puede ocurrir al menos dos veces antes de ser adquirido.

Una vez que el comprador coloca el producto congelado en el carro de supermercado, transcurren en promedio 30 min para que el comprador finalice su recorrido por la tienda y realice el pago en caja (esto está en función de donde se encuentre ubicada el área de congelados y por dónde comience su recorrido el consumidor).

Posteriormente se lleva a cabo el transporte de las verduras desde la tienda hasta el hogar. En este punto los vegetales son sometidos a temperatura ambiente exterior y puede tomar hasta 30 min antes de que los vegetales sean colocados en el congelador doméstico.

Una vez que las verduras se colocan en el congelador doméstico, estas son recongeladas a la temperatura del congelador, y ocurre el fenómeno de recristalización. En esta situación consideraremos que el comprador consume las verduras al tercer día de almacenamiento, sin embargo, comúnmente se toma una porción de la bolsa de verduras y se guarda el resto para otro día. Esto quiere decir, por ejemplo, que se consume la primera porción de la bolsa al tercer día de almacenamiento y se consume el resto del empaque al sexto día. En el transcurso de estos tres días, el congelador es abierto una o dos veces al día para extraer otros productos del congelador doméstico, la abertura de puerta propicia una fluctuación de temperatura debido al cambio de aire.

#### **b) Condición severa de variación de temperatura**

##### **Descripción:**

Las verduras congeladas son extraídas del equipo de venta y exhibición entre 30 s y 1 min para ser evaluados por el consumidor, después son devueltas a el equipo refrigerado (en estos instantes el producto se somete a temperatura ambiente de la tienda de autoservicio). Esto puede ocurrir al menos dos veces antes de adquirido.

Una vez que el comprador coloca el producto congelado en el carro de supermercado, transcurren 45 min para que el comprador finalice su recorrido por la tienda y realice el pago en caja.

Posteriormente se lleva a cabo el transporte de las verduras desde la tienda hasta el hogar. Asumiendo que el supermercado se encuentra más alejado del domicilio del consumidor, el transporte podría tener una duración de 50 minutos.

Una vez que los vegetales se colocan en el congelador doméstico, las verduras son recongeladas a la temperatura del congelador y ocurre el fenómeno de recristalización. Transcurren tres días antes de que las verduras sean utilizadas. Destacando que se toma una porción de las verduras al tercer día de almacenamiento y el restante al sexto día. En el transcurso de estos tres días, la puerta del congelador es abierta, dando lugar a la fluctuación de temperatura durante el almacenamiento.

Tabla 7. Condiciones de variación de temperatura.

CONDICIÓN	ACTIVIDAD	TEMPERATURA	TIEMPO	OBSERVACIONES
<b>VARIACIÓN NORMAL DE TEMPERATURA (30 min a T ambiente)</b>	Recorrido en la tienda de autoservicio	Temperatura ambiente	30 min	La temperatura ambiente de la tienda de autoservicio podría ser menor a la temperatura exterior debido al aire acondicionado
	Traslado	Temperatura ambiente	30 min	
	Almacenamiento en el congelador doméstico	Temperatura entre los -13 y -18°C	6 días	Abertura de puerta de 2 a 3 veces por día, se toma una muestra al tercer y sexto día de almacenamiento
<b>VARIACIÓN SEVERA DE TEMPERATURA (45 min a T ambiente)</b>	Recorrido en la tienda de autoservicio	Temperatura ambiente	45 min	La temperatura ambiente de la tienda de autoservicio podría ser menor a la temperatura exterior debido al aire acondicionado
	Traslado	Temperatura ambiente	50 min	
	Almacenamiento en el congelador doméstico	Temperatura entre los -13 y -18°C	6 días	Abertura de puerta de 2 a 3 veces por día, se toma una muestra al tercer y sexto día de almacenamiento

## 2.6 Evaluación de los parámetros de calidad

### 2.6.1 Pérdida de agua

La pérdida de agua se determinó descongelando el producto extrayendo el líquido drenado con una jeringa, y pesando la muestra para determinar la pérdida de peso por agua liberada.



Figura 16. Balanza digital Ohaus SoutPro.

### 2.6.2 pH

La medición de pH se realizó con un potenciómetro *Hanna HI-207 Educational*, calibrando el instrumento en cada muestreo. La mezcla de verduras se homogeniza con agua destilada y es decantada para reducir las partículas sólidas en la solución.



Figura 17. Potenciómetro Hanna HI-207 Educational.

### 2.6.3 Textura

Se realizó un análisis de perfil de textura empleando un Texturómetro Brookfield modelo CT3 con una carga de activación de 0.7N y velocidad de la prueba de 1mm/s, las condiciones de pre-carga y post-test fueron también de 1 mm/s. La muestra se colocó en un vaso de plástico y se fijó a la plataforma TA-B-KIT, de tal modo que la muestra quedó dispuesta en forma cilíndrica con 48mm de diámetro y 15mm de espesor, por lo cual fue necesaria la geometría cilíndrica TA25/1000. El parámetro obtenido fue la dureza.



Figura 18. Texturómetro Brookfield CT3.

#### 2.6.4 Cambios de color

Los cambios de color debido a la fluctuación de temperatura se determinaron con el agro colorímetro Apollinaire, el cual mide el espacio de color en RGB, estos valores pueden ser convertidos a los parámetros de color L, a y b, empleando la biblioteca de código abierto ColorMine. Se midió el color de la mezcla de verduras y en cada uno de los componentes por separado.



Figura 19. Agro colorímetro Apollinaire.

#### 2.6.5 Cristales de hielo

Se determinó cualitativamente el tamaño de los cristales de hielo empleando un microscopio digital Celestron 44302 con resolución de 2MP y zoom digital de 10X a 150X. Se procuró capturar las imágenes donde se encontrarán los tres componentes de la mezcla de verduras.



Figura 20. Microscopio digital Celestron 44302.

## 2.7 Toma de muestra

Después de someter la mezcla de verduras campesina a una condición normal y severa de variación de temperatura, se tomaron muestras cada tercer y sexto día de almacenamiento frigorífico doméstico (Figura 21) para evaluar los cambios en los atributos de calidad.

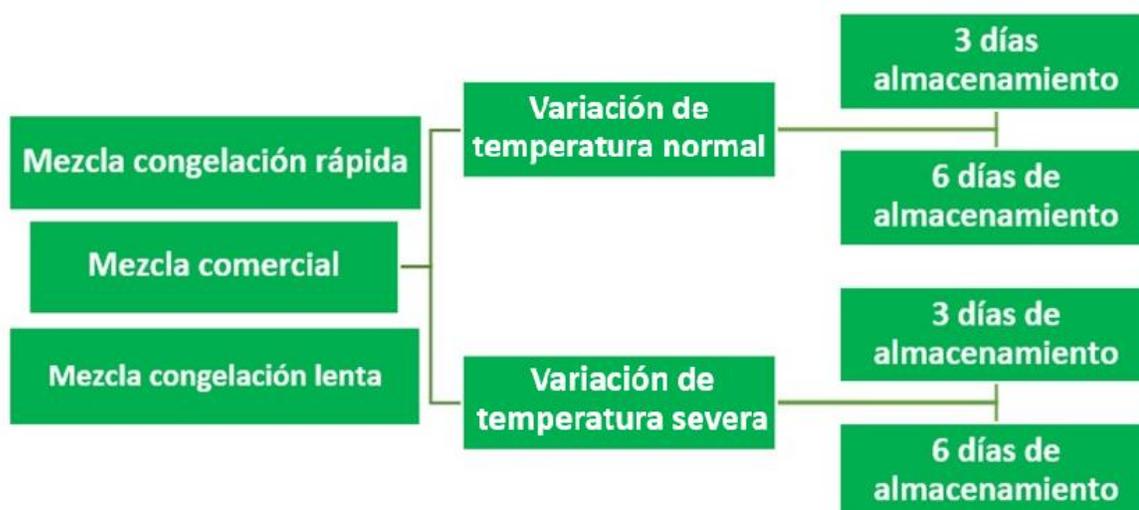


Figura 21. Toma de muestra de la mezcla campesina de verduras congeladas.

## CAPÍTULO III ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 3.1 Caracterización y acondicionamiento del equipo de congelación

El promedio de temperaturas de las paredes del congelador y del medio se muestran en la Figura 22, determinándose que el área más fría del congelador se encuentra arriba del compresor del equipo, resaltada en la Figura 22. Por lo tanto, este espacio fue aprovechado para la congelación lenta y rápida. Por lo cual, para la congelación rápida el ventilador se colocó de tal forma que el aire chocará con la pared más fría del equipo, se midió la velocidad del aire y temperatura en el espacio de congelación. La velocidad del aire fue de 4.15 m/s y una temperatura del medio de  $-20^{\circ}\text{C}$ .

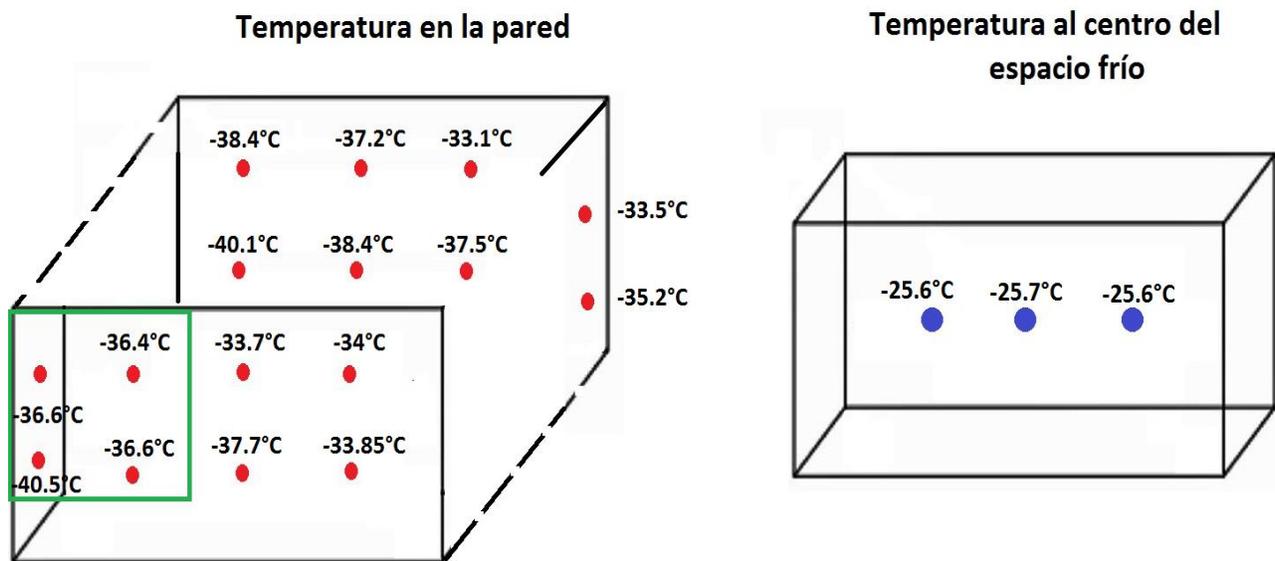


Figura 22. Temperaturas del congelador Frigidaire.

### 3.2 Caracterización del congelador doméstico

La Figura 23 muestra la variación de la temperatura con respecto al tiempo en el congelador doméstico, la temperatura fue tomada cada 30 min, mostrándose la fluctuación de temperatura debido a la abertura y cierre de puerta, cabe mencionar que esta fluctuación corresponde a las condiciones reales de almacenamiento en un congelador doméstico, ya que constantemente se extraen e introducen alimentos. Se destaca que la temperatura máxima alcanzada fue de  $-4.5^{\circ}\text{C}$  y la mínima de  $-18^{\circ}\text{C}$ .

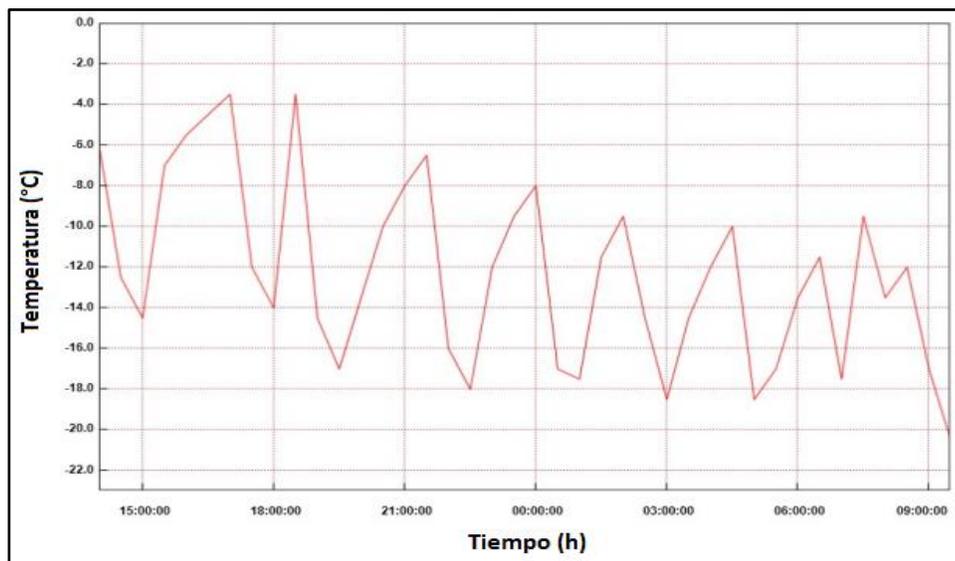


Figura 23. Fluctuación de temperaturas durante la caracterización del equipo.

### 3.3 Tiempo de congelación

La prueba preliminar de congelación en charola y en envase, demostró que las verduras en charola congelan más rápido, pues alcanzaron la temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$  en 1 hora con 35 min, mientras que el producto envasado alcanzó los  $-18^{\circ}\text{C}$  en 3 horas y 50 min. La temperatura del medio osciló entre los  $-20$  y  $-25^{\circ}\text{C}$ .

El proceso de congelación se detuvo hasta que el producto alcanzó la temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$ , en la Figura 24, se muestran las características del producto una vez envasado. El producto se almacenó por 2 días a  $-20^{\circ}\text{C}$  para su estabilización. En la Tabla 8, se presenta un resumen de las condiciones del proceso de congelación, el tiempo de congelación experimental y el tiempo de

congelación teórico calculado a partir de la ecuación de Nagaoka, las propiedades térmicas fueron calculadas mediante ecuaciones empíricas basadas en la composición química del alimento (ver Anexo A).

Tabla 8. Condiciones y resultados del proceso de congelación.

	Congelación lenta	Congelación rápida
Dimensiones de la charola	34 cm x 24 cm	34 cm x 24 cm
Espesor	1.3 cm	1.3 cm
Temperatura inicial del producto	20 °C	17 °C
Temperatura del medio	-28.5 °C	-16 °C
Punto inicial de congelación	-1.7 °C	-1.7 °C
Temperatura final de congelación	-20 °C	-20 °C
Coeficiente convectivo	5 W/m <sup>2</sup> °C	22 W/m <sup>2</sup> °C
Velocidad del aire	—	4.1 m/s
Tiempo teórico	6.85 h	3.12 h
Tiempo experimental	5.83 h	3 h
Velocidad de congelación	6.86 °C/h	11.86°C/h



Figura 24. Bolsas de 60 g de mezcla campesina de verduras.

Se empleó una reja de metal como base para la charola (ver Figura 25), con el fin de evitar el contacto con las paredes del congelador y así, predominará únicamente un solo mecanismo de transferencia, convección natural para la congelación lenta y convección forzada de aire para la mezcla en congelación rápida.



Figura 25. Base para la charola de congelación.

Para evitar la descongelación del producto durante el envasado, se fueron sacando pequeñas porciones de producto del equipo de congelación para pesar y sellar las bolsas procurando extraer el aire contenido en la bolsa. Cada una de las bolsas contenía 60 g de producto.

### 3.4 Visita a la tienda de autoservicio Soriana Mercado

La mezcla campesina comercial fue comprada en la tienda de autoservicio Soriana Mercado ubicada en Calzada de Guadalupe No. 105 A, Guadalupe, Cuautitlán, Estado de México. Se registró la temperatura ambiente de la tienda de autoservicio y del equipo de exhibición (Figura 26) con un termómetro infrarrojo de bolsillo marca *Thermor* y se registró la variación de temperatura de la mezcla campesina durante el recorrido en la tienda de autoservicio y el transporte, introduciendo un *Smartbutton* al interior de la bolsa (Figura 27). Del mismo modo, se registró la temperatura durante el almacenamiento frigorífico doméstico en los 6 días de almacenamiento.



Figura 26. Equipo de exhibición de productos congelados (Congelador vertical).



Figura 27. Bolsas de mezcla campesina con un *smartbutton* en el interior.

#### **a) Variación normal de temperatura**

Se realizó la compra de la mezcla campesina de verduras congeladas el día 17 de octubre de 2017 registrando una temperatura ambiente promedio en la tienda de 22.9°C, y una temperatura del congelador para venta y exhibición de -19°C. Las verduras fueron extraídas del congelador a las 8:45am, se recorrió la tienda de autoservicio durante 30 min. A partir de las 9:15 am se llevó a cabo el transporte registrando una temperatura ambiente promedio de 20.8°C. Finalmente la mezcla campesina ingresó al congelador doméstico a las 9:45am.

#### **b) Variación severa de temperatura**

Se realizó la segunda visita a la tienda de autoservicio el 24 de octubre de 2017, para realizar la variación severa de temperatura. La temperatura ambiente promedio en la tienda fue de 23°C, y una temperatura del congelador para venta y exhibición de -18.5°C, las verduras fueron extraídas del congelador a las 8:35am, se recorrió la tienda de autoservicio durante 45 min. A partir de las 9:20 am se llevó a cabo el transporte registrando una temperatura ambiente promedio de 22.7°C. Finalmente la mezcla campesina ingresó al congelador doméstico a las 10:10 am.

Las condiciones anteriores, se reprodujeron para el manejo de las verduras congeladas de elaboración propia en congelación lenta y en congelación rápida. De forma similar, se simuló el recorrido por la tienda de autoservicio y el transporte a casa, midiendo la temperatura ambiente a la cual estuvo expuesta la mezcla campesina de verduras, en la Tabla 9 se muestran los resultados, destacando que

los días en que se realizó la compra de la mezcla comercial fueron más calurosos que el resto de los días de muestreo.

Después de someter las muestras a la variación de temperatura, estas fueron colocadas en el congelador doméstico. El registro de la abertura y cierre de puerta del congelador durante los 6 días de almacenamiento frigorífico doméstico se muestran en el apéndice: Tabla E, F y G.

Tabla 9. Temperatura ambiente de la tienda de autoservicio y durante el transporte.

	Condición	Temperatura ambiente en la tienda de autoservicio (°C)	Temperatura ambiente durante el transporte (°C)
Mezcla comercial	Variación normal	22.9	20.8
	Variación severa	23	22.7
Mezcla en congelación lenta	Variación normal	20.8	21
	Variación severa	20.8	21
Mezcla en congelación rápida	Variación normal	20.3	20.5
	Variación severa	20.3	20.5

### 3.5 Historias térmicas

En las Figuras 28, 29 y 30 se muestran las variaciones de temperatura desde el centro comercial y hasta el sexto día de almacenamiento. En la esquina superior derecha de las historias se encuentra la variación de temperaturas durante el recorrido por la tienda de autoservicio y el transporte. Y en la parte inferior se ubica la fluctuación de temperaturas durante el almacenamiento frigorífico doméstico, la línea verde al centro del gráfico indica donde termina el tercer día de almacenamiento. En todos los casos la variación severa de temperatura, que corresponde a 45 min de traslado ocasionó un incremento considerable de la temperatura del producto, alcanzando los  $-2^{\circ}\text{C}$ .

La mezcla campesina de verduras comercial en variación normal de temperatura (Figura 28), registró dos aberturas del congelador de 19 y 30 s a las 70 horas de almacenamiento en un intervalo de 17 min (consultar Tabla E), estas aberturas lograron incrementar la temperatura del producto desde los  $-14^{\circ}\text{C}$  a los  $-12^{\circ}\text{C}$ . Este evento es muy similar a las acciones que realiza el consumidor cuando extrae un producto del congelador y lo devuelve minutos después. Este ejemplo demuestra la fuerte influencia que tiene la abertura de la puerta del congelador en el incremento de temperatura del producto ( $2^{\circ}\text{C}$ ).

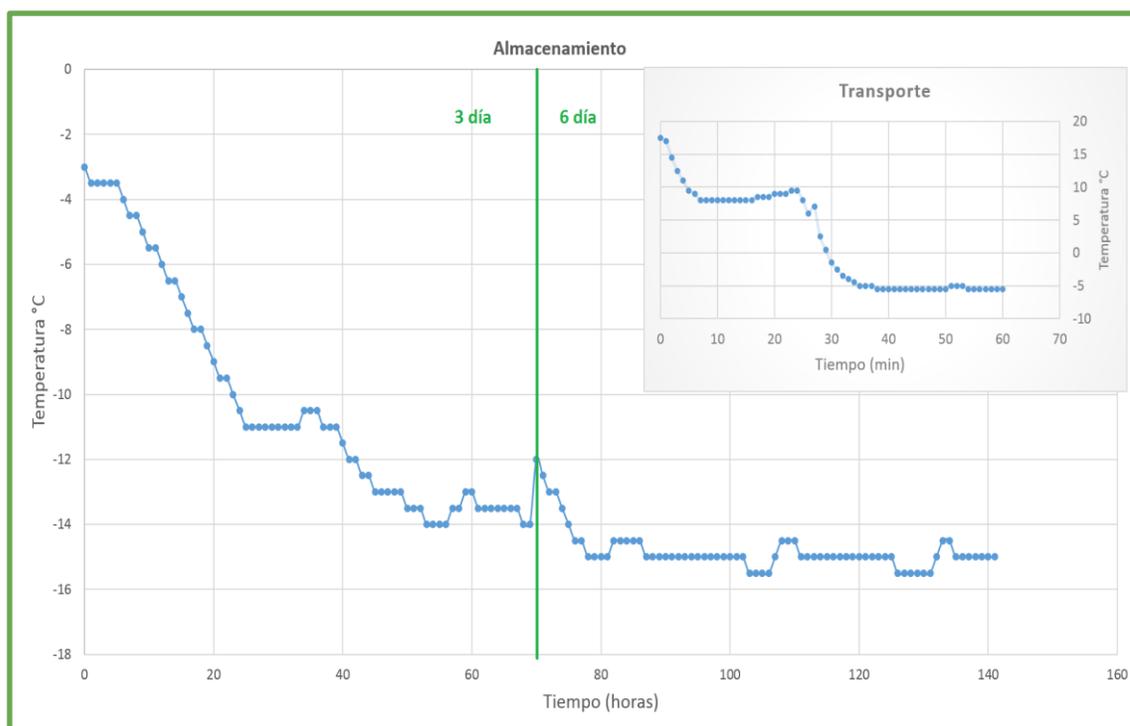


Figura 28. Mezcla de verduras comercial, variación normal de temperatura.

La mezcla campesina de verduras comercial en variación severa de temperatura (Figura 29), registró mayor número de aberturas de la puerta del congelador, estas condiciones se ven reflejadas en la historia térmica principalmente en el intervalo de las 80 a 140 h de almacenamiento. En el caso de la mezcla de verduras en congelación lenta y variación normal de temperatura (Figura 30), es importante resaltar que las fluctuaciones de temperatura no se limitan a la abertura de la puerta del congelador, ya que a las 89 y 115 horas de almacenamiento que corresponden a la madrugada del 4 y 5 de noviembre

respectivamente, se registró un incremento en la temperatura de la mezcla de 3°C, que solo pueden deberse a cuestiones inherentes a el equipo doméstico, como el paro de máquina por ahorro de energía.

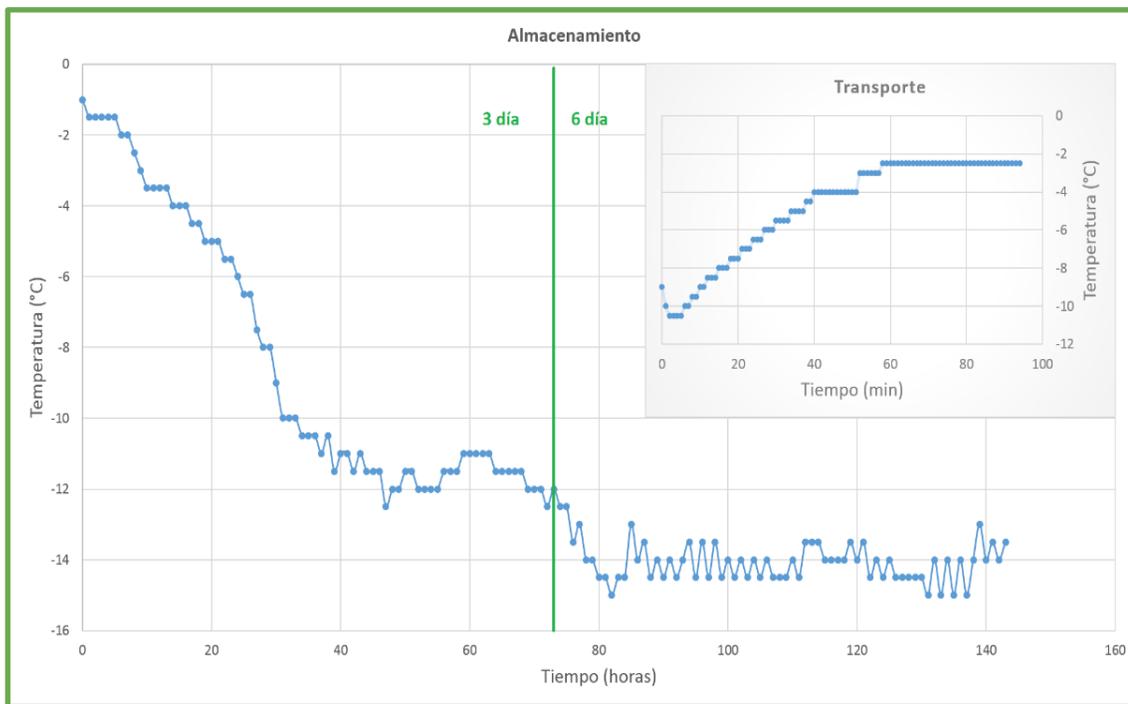


Figura 29. Mezcla de verduras comercial, variación severa de temperatura.

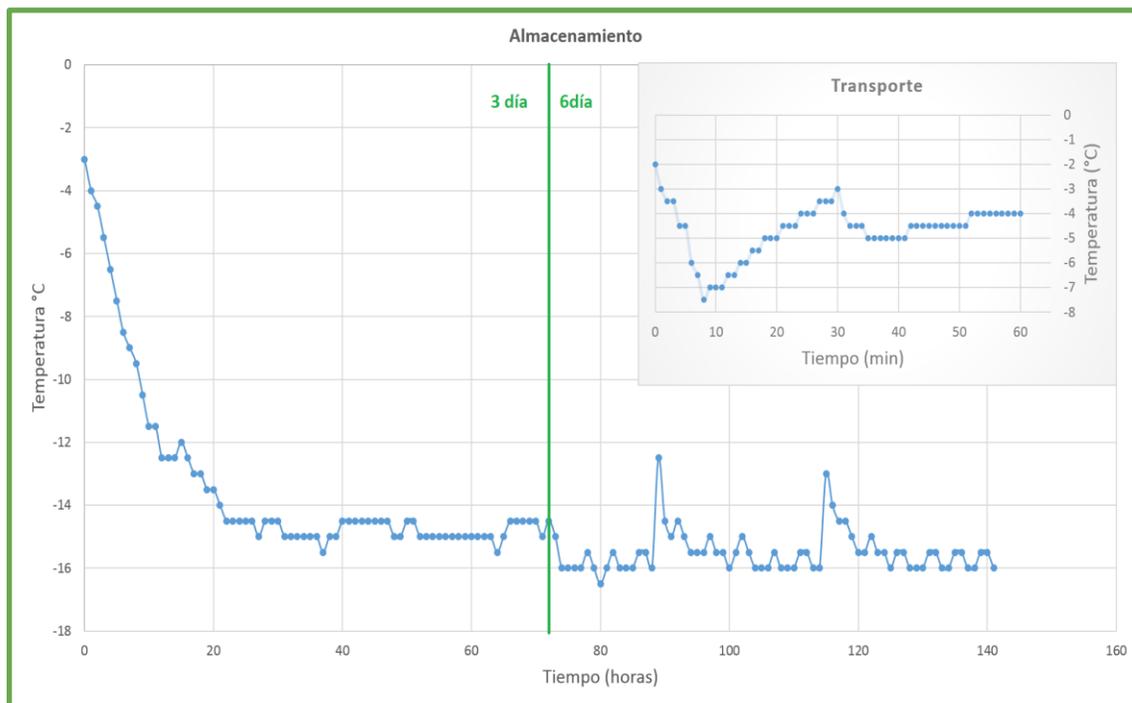


Figura 30. Mezcla de verduras en congelación lenta, variación normal de temperatura.

La mezcla de verduras en congelación lenta y variación severa de temperatura (Figura 31) es la que presentó una menor fluctuación de temperatura durante el almacenamiento congelado. Mientras que la mezcla de verduras en congelación rápida y variación normal de temperatura (Figura 32), presentó gran fluctuación de temperatura en las muestras que permanecieron hasta el sexto día de almacenamiento, consecuencia de las aberturas de puerta del frigorífico y a los paros y arranques del compresor del congelador. Respecto al recorrido por la tienda de autoservicio y la etapa de transporte a casa, de la mezcla de verduras en congelación rápida, cabe mencionar que la temperatura ambiente exterior y de la tienda, fue prácticamente igual (20.3 y 20.5°C), debido a estas condiciones de temperatura, en la esquina superior derecha de la historia térmica se observa un incremento gradual de la temperatura del producto. Por último, la mezcla de verduras en congelación rápida y variación severa de temperatura (Figura 33), tuvo un total de cinco aberturas de la puerta del congelador entre las 76 y 79 h de almacenamiento, estas aberturas propiciaron el incremento de temperatura del producto desde los  $-18$  a los  $-12^{\circ}\text{C}$ .

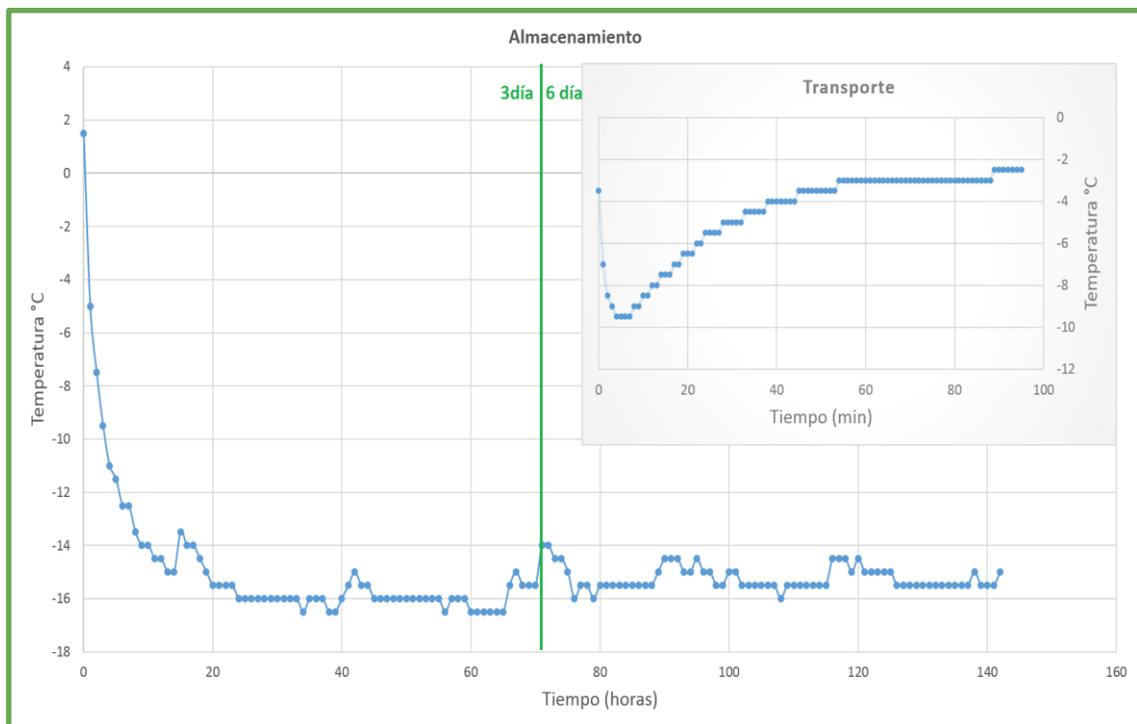


Figura 31. Mezcla de verduras en congelación lenta, variación severa de temperatura.

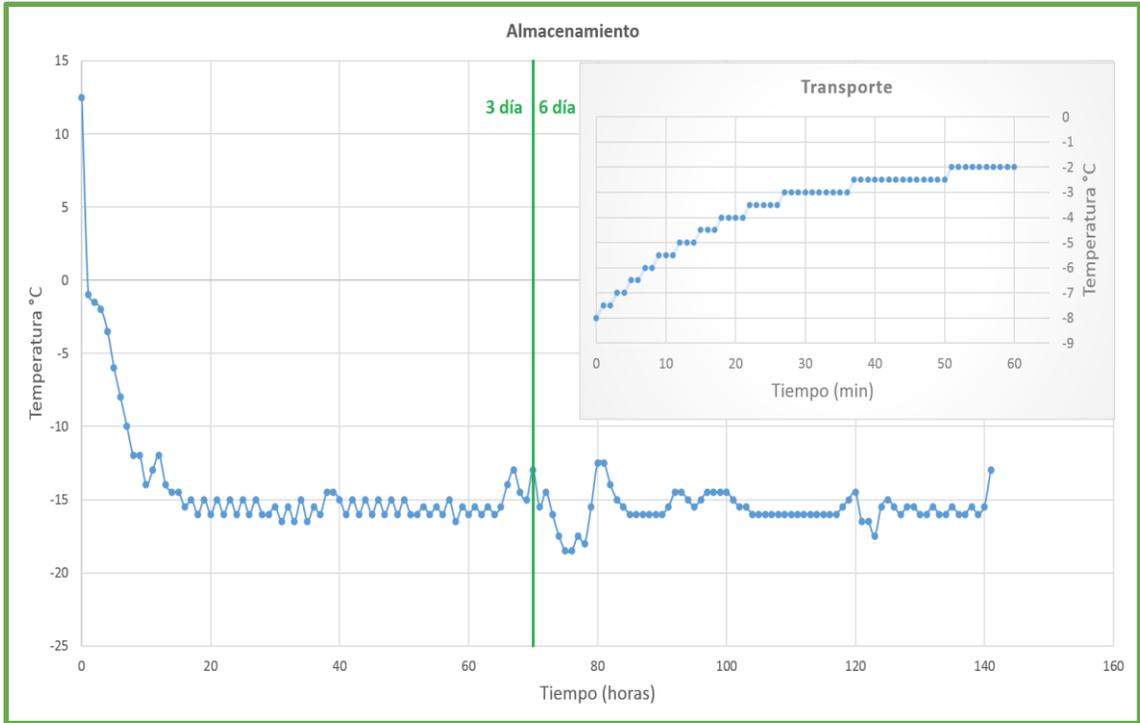


Figura 32. Mezcla de verduras en congelación rápida, variación normal de temperatura.

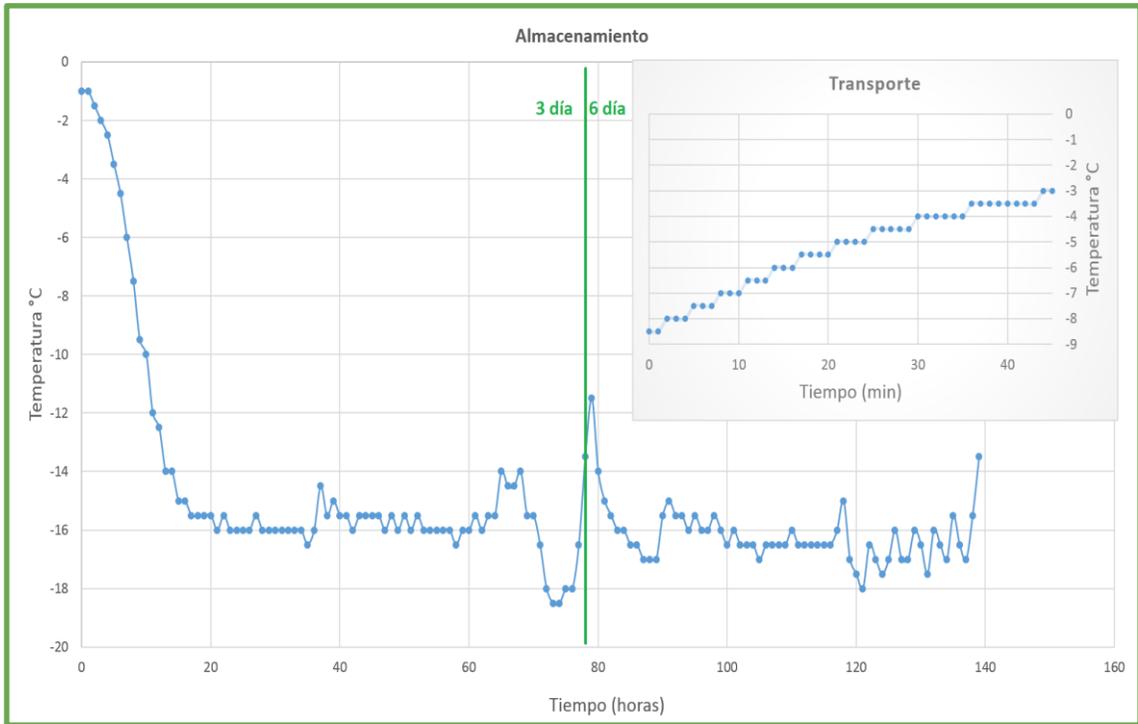


Figura 33. Mezcla de verduras en congelación rápida, variación severa de temperatura.

### 3.6 Diferencia de color ( $\Delta E$ )

La diferencia de color puede ser definida como la comparación numérica del color de muestras con el estándar. Indica las diferencias en coordenadas absolutas de color y se le conoce como Delta E ( $\Delta E$ ) (Konica, 2017).  $\Delta E$  sólo indica la magnitud de la diferencia total de color y sirve de comparación entre una muestra dada con el control. Se compararon las mezclas campesinas con una muestra control, la cual no fue sometida a fluctuación de temperatura. La diferencia de color se calcula a partir de la ecuación 4 (Mathias y Ah-Hen, 2014).

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{0.5} \quad \text{Ecuación (4)}$$

En la Figura 34 se muestra la diferencia de color en los tres métodos de congelación al tercer y sexto día de almacenamiento, a mayor tiempo de almacenamiento, el color de la mezcla se va alejando del color de la mezcla control. Rawson et al., (2012), estudiaron el efecto del método de congelación (lento y rápido) en zanahorias escaldadas y sin escaldar almacenadas a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , observaron que la diferencia de color es mayor en zanahorias escaldadas en congelación lenta que en zanahorias escaldadas en congelación rápida. De forma similar, la mezcla campesina en congelación rápida presenta menor diferencia de color entre días de almacenamiento, en comparación con la mezcla en congelación lenta. Esto quiere decir que la congelación rápida da mayor estabilidad al producto. Con base a un análisis de varianza de una vía ( $\alpha=0.05$ ) se determina que el método de congelación y el tiempo de almacenamiento no influye significativamente en la diferencia de color.

En la figura 35 se muestra la diferencia de color en los tres métodos de congelación en variación severa de temperatura al tercer y sexto día de almacenamiento, observándose que, a mayor tiempo de almacenamiento, el color de la mezcla se va alejando del color de la mezcla control. Cabe destacar que para la congelación rápida el cambio de color entre días de almacenamiento es menor en comparación con la mezcla en congelación lenta y mezcla comercial, como se comentó en el caso anterior. Esto corresponde a lo reportado por Rawson et al.,

(2012), quienes concluyeron que, los pigmentos colorantes se ven afectados por el método de congelación empleado. Con base a un análisis de varianza de una vía ( $\alpha=0.05$ ) se determina que el método de congelación influye significativamente en la diferencia de color, siendo la congelación lenta distinta del resto, de acuerdo con la prueba de Tukey.

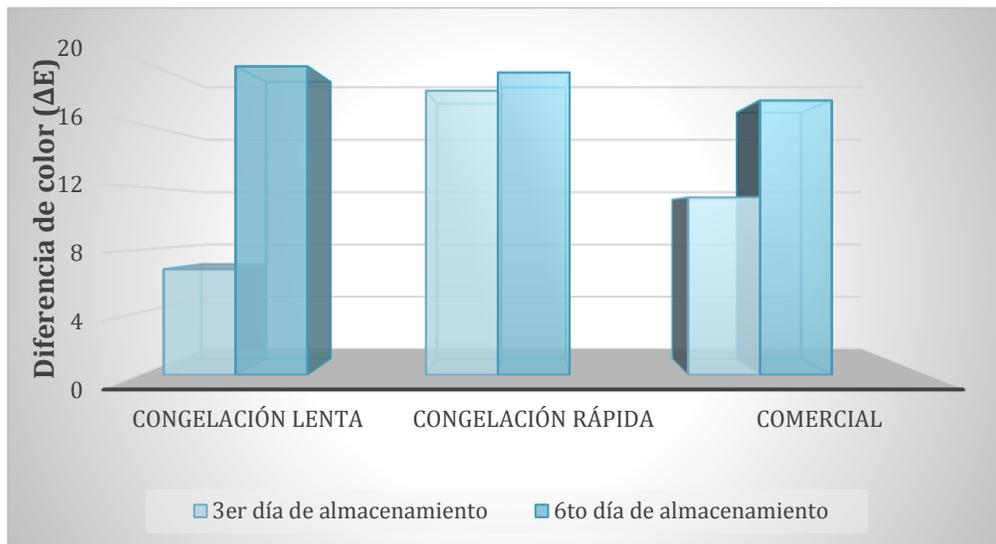


Figura 34. Diferencia de color de la mezcla campesina en variación normal de temperatura.

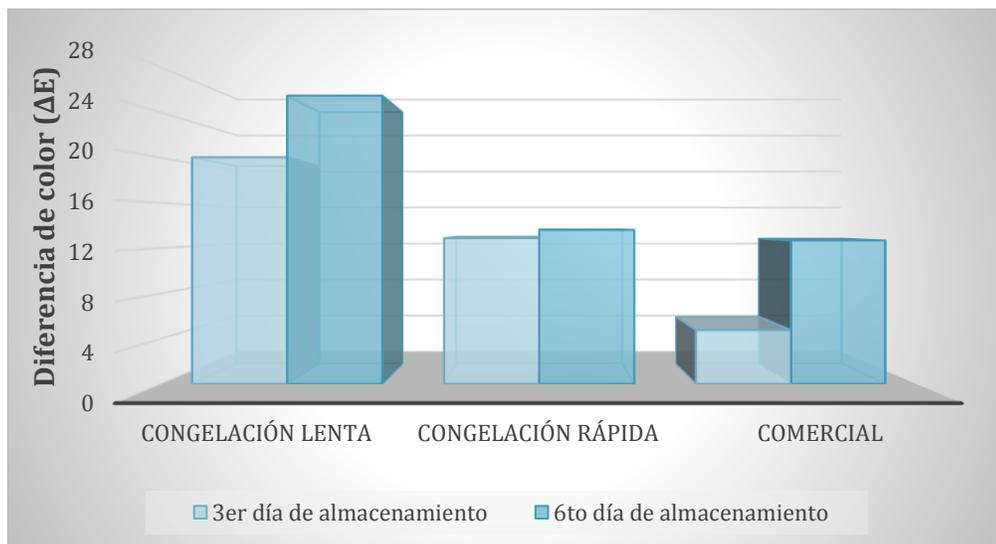


Figura 35. Diferencia de color de la mezcla campesina en variación severa de temperatura.

### **3.7 Cambios en ángulo de tono (Hue)**

El ángulo de tono, tinte o color, denominado Hue, es caracterizado por la longitud de onda de la radiación y hace diferente un color de otro. Representa un espacio en el diagrama de cromaticidad. El tono varía entre 0 y 360° (Mathias y Ah-Hen, 2014). En las siguientes figuras de este apartado, se muestran los resultados de ángulo Hue para la zanahoria, chícharo y elote, los cuales fueron tratados estadísticamente por el programa Minitab, realizando un análisis de varianza con un nivel de confianza de 0.95.

#### **3.7.1 Zanahoria**

En la Figura 36 se observa un incremento en el ángulo de tono al sexto día de almacenamiento, esto quiere decir que el color se está desplazando hacia el tono amarillo. Mazzeo, et al., (2011), mencionaron que el  $\alpha$ - y  $\beta$ -caroteno, son los responsables de la coloración en las zanahorias y los cambios en el color están relacionados con el contenido de ambos y su isomerización en varios isómeros cis. Por lo tanto, el incremento en el valor del ángulo de tono es debido a la disminución en el contenido de carotenos. La disminución de carotenos se da por efecto de la luz, la oxidación, altas temperaturas o malas condiciones de almacenamiento. En este caso, la disminución del ángulo de tono es debido a la temperatura de almacenamiento, la cual en promedio fue de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y fluctuó durante el almacenamiento. Se realizó un análisis estadístico del ángulo de tono respecto al tiempo y el método de congelación, indicando, que no existe diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) entre estos factores. Sin embargo, según la prueba de comparación de medias de tratamientos de Tukey, comparando el ángulo de tono con el método de congelación se observa que la congelación rápida y la mezcla comercial son pares.

En la figura 37, se aprecia que el valor del ángulo de tono disminuye al sexto día de almacenamiento, contrario a lo que ocurrió en las muestras en variación normal de temperatura. El color se desplaza hacia el tono rojo, esto se debe a que hay mayor pérdida de agua en variación severa de temperatura, la deshidratación del producto ocasiona concentración de los solutos de la zanahoria, correspondiendo a lo mencionado por (Gormley et al., 2002), las oscilaciones en la

temperatura favorecen al fenómeno llamado maduración de Ostwald, un consecuente aumento en daño por estrés y una acumulación de soluciones concentradas a medida que el hielo migra a otras ubicaciones. Se realizó un análisis de varianza del ángulo de tono respecto al tiempo de congelación, el cual indica, que no existe diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) entre estos factores.

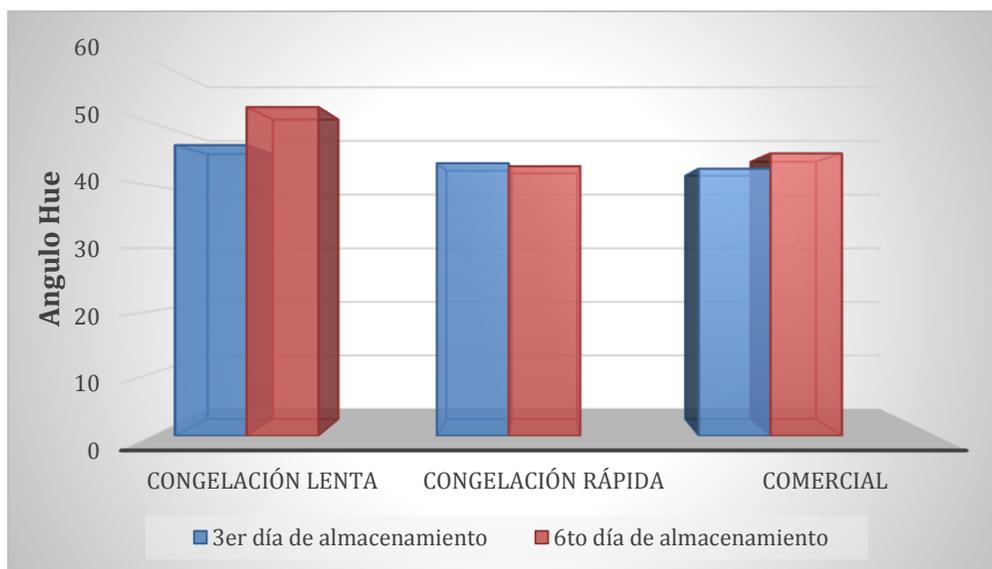


Figura 36. Cambios en el ángulo de tono en zanahoria para los 3 métodos de congelación (variación normal de temperatura).

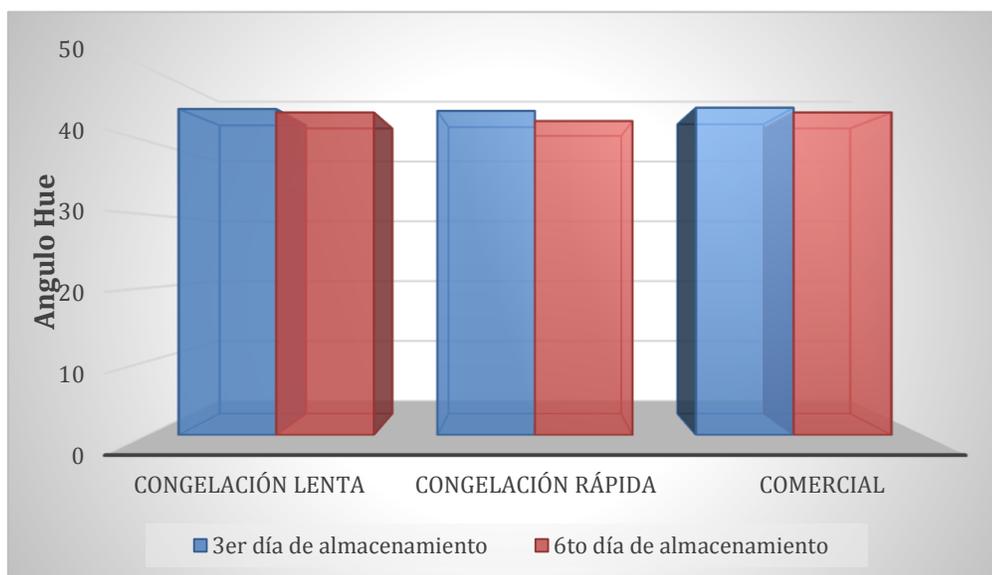


Figura 37. Cambios en el ángulo de tono en zanahoria para los 3 métodos de congelación (variación severa de temperatura).

### 3.7.2 Chícharo

En la Figura 38, se observa el incremento del valor del ángulo Hue al sexto día de almacenamiento, esto quiere decir que el color se desplaza desde el verde-amarillo hacia el tono verde, lo cual visualmente se percibe como un oscurecimiento, este oscurecimiento durante el almacenamiento congelado, se atribuye principalmente a la decoloración del color verde vivo a un color marrón oliva, debido a la feofetización de la clorofila, por el reemplazo de clorofila magnesio por hidrógeno (Dietrich, Boogs, Nutting y Weinstein, 1960; Heaton, Lencki y Maragoni, 1996; Schwartz y Von Elbe, 1983 citados por Martins y Silva, 2004). Estos cambios en la clorofila se producen por la alta temperatura del frigorífico doméstico, la cual fluctuaba y no alcanzaba la temperatura recomendada de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Martins y Silva (2004), afirman que el color permanece estable por debajo de los  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  ya que los compuestos metal-clorofila, retienen un color verde vivo. Se realizó un análisis de varianza del ángulo Hue contra el tiempo y el método de congelación determinando que existe diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) para el tiempo de almacenamiento, no así, para el método de congelación.

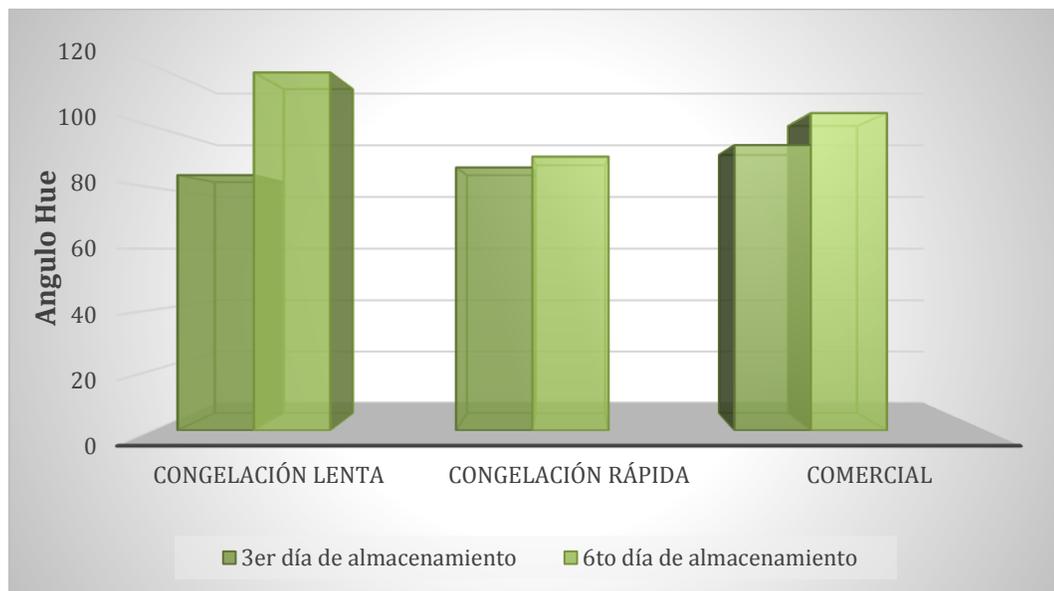


Figura 38. Cambios en el ángulo de tono del chícharo para los 3 métodos de congelación (variación normal de temperatura).

En la Figura 39 se observa que la variación severa de temperatura causó un comportamiento distinto en el valor del ángulo de tono de la muestra en congelación lenta, pues este disminuyó ligeramente, en lugar de aumentar como en el caso anterior, lo cual representa una pérdida de color en los chícharos. Esta pérdida de color fue reportada por (Gormley et al., 2002), en brócoli sometido a variación de temperatura que alcanzó un máximo de  $-10^{\circ}\text{C}$  en el almacenamiento congelado. De acuerdo con Evans, 2008, la fluctuación de temperatura es la responsable de la pérdida de color de los chícharos en congelación lenta debido a la conversión de clorofila a en clorofila b. La muestra en congelación rápida y el producto comercial mantuvieron un incremento en el ángulo de tono. Por otra parte, el análisis de varianza del ángulo Hue indica que no hay diferencia significativa entre los métodos de congelación y el tiempo de almacenamiento ( $\alpha=0.05$ ).

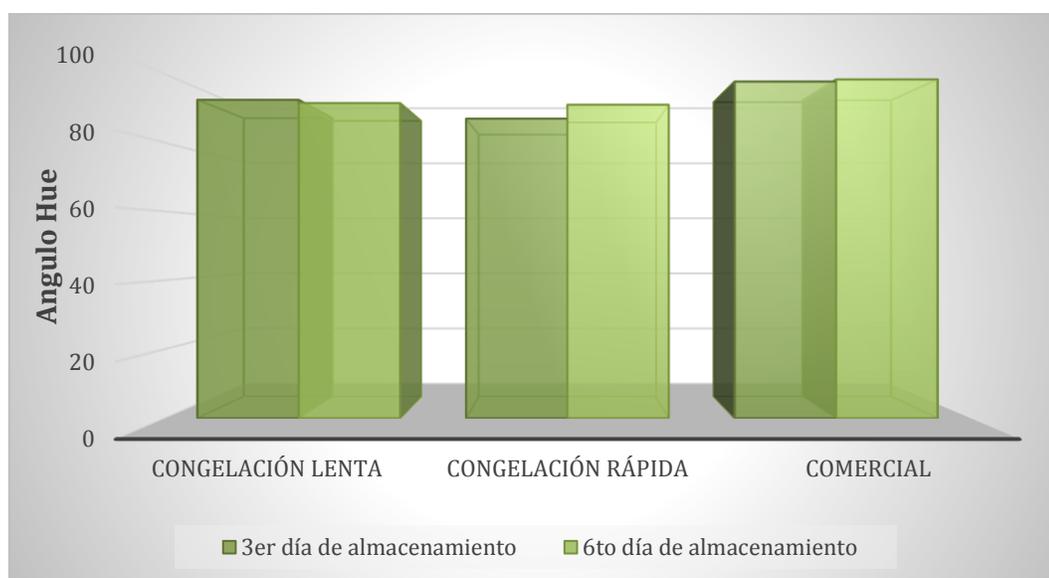


Figura 39. Cambios en el ángulo de tono del chícharo para los 3 métodos de congelación (variación severa de temperatura).

### 3.7.3 Elote

En primer lugar, es importante aclarar que la mezcla de verduras comercial contiene maíz dulce amarillo (*Zea mays var Saccharata*), mientras que la mezcla en congelación lenta y congelación rápida contiene maíz blanco. Por lo cual, el maíz de la mezcla comercial es de un color amarillo vivo, Zin et al., (2017), reportan un

valor de ángulo de tono para esta variedad de maíz de 93.64. En la Figura 40, se observa que el valor del ángulo Hue incrementa al sexto día de almacenamiento, en todas las muestras, este comportamiento ya ha sido reportado por diversos estudios, entre ellos, Gormley et al., (2002), estudiaron el efecto de la variación de temperatura y temperatura constante en el almacenamiento congelado sobre los parámetros de calidad de diversos alimentos congelados. El estudio reveló que la fluctuación de temperatura conduce a un aumento considerable en el valor del ángulo Hue, principalmente durante el primer mes de almacenamiento. Se realizó un análisis de varianza del ángulo de tono contra el tiempo y el método de congelación, el cual indica, que hay diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) entre estos factores. Por otro lado, un análisis de varianza de una sola vía para el ángulo Hue y el tiempo de almacenamiento demostró una diferencia significativa entre los días de almacenamiento.

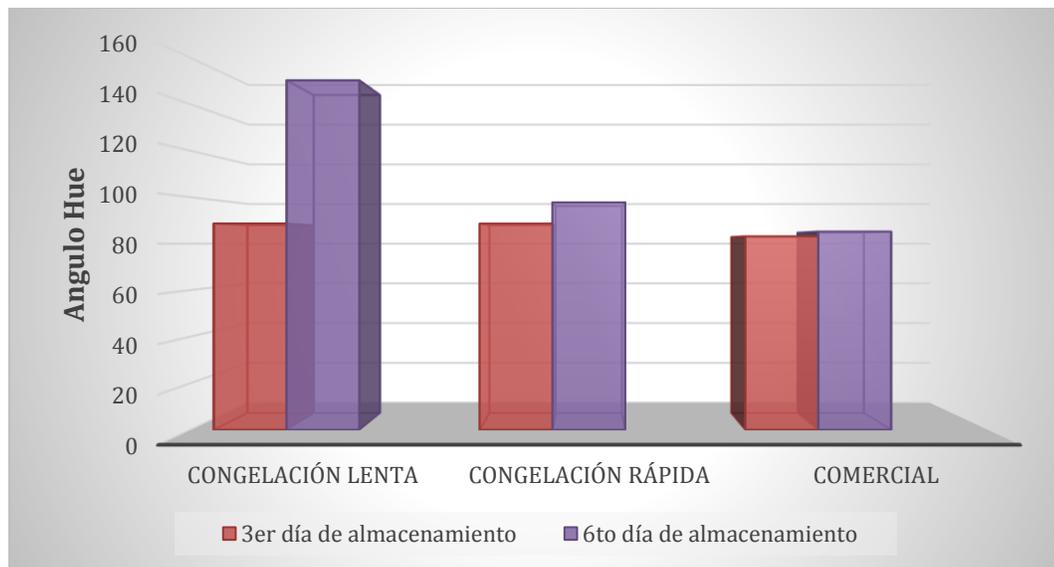


Figura 40. Cambios en el ángulo de tono del elote para los 3 métodos de congelación (variación normal de temperatura).

En la Figura 41 se observa que el valor del ángulo de tono incrementa al sexto día de almacenamiento, del mismo modo que ocurrió con las muestras en variación normal de temperatura, un incremento en el ángulo de tono, indica que el color se está desplazando desde el tono amarillo-rojo a el amarillo-verde, lo cual visualmente se percibe como una pérdida de color, correspondiendo a las

observaciones realizadas en el estudio de Zin et al., (2017). El color de los granos de maíz se desvaneció durante el almacenamiento; el aumento en el tiempo de almacenamiento a menudo resulta en la pérdida de brillo, verdor e incremento en el valor L de los productos. Se realizó un análisis de varianza del ángulo Hue contra el tiempo de almacenamiento y el método de congelación, con el cual se determinó que hay diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) entre estos factores. Al comparar en una sola vía el ángulo Hue y el método de congelación con una prueba de Tukey se observa que la congelación rápida y la mezcla comercial son significativamente diferentes de la mezcla en congelación lenta. Sin embargo, al comparar el ángulo Hue con el tiempo de almacenamiento no hay diferencia significativa.

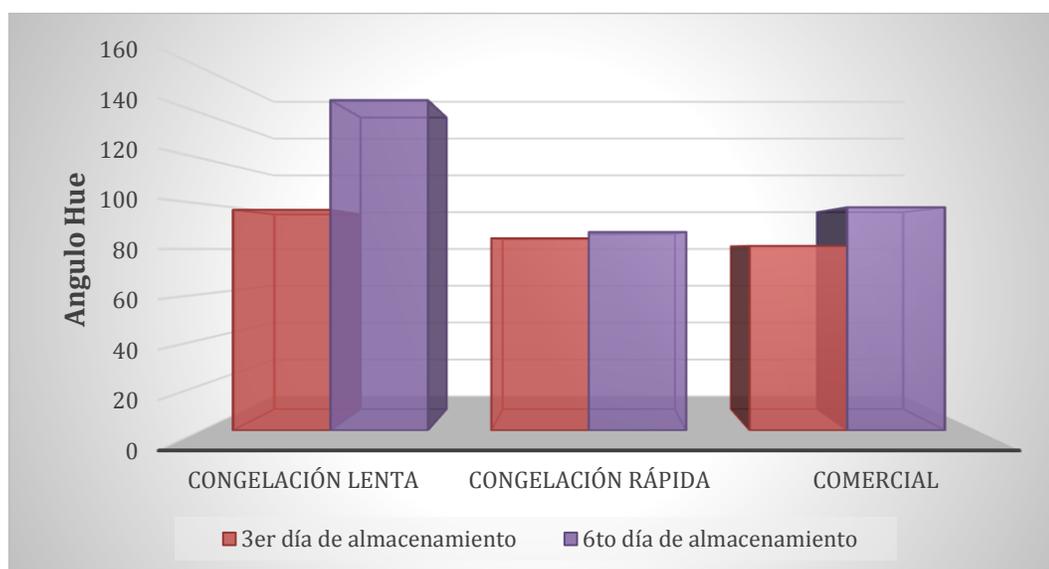


Figura 41. Cambios en el ángulo de tono del elote para los 3 métodos de congelación (variación severa de temperatura).

### 3.8 Cambios en cromaticidad

La cromaticidad es la saturación, intensidad o pureza espectral del color que va desde los tonos grises pálidos, apagados a los más fuertes y vivos. El croma toma el valor 0 para estímulos acromáticos y normalmente no pasa de 150, aunque puede superar valores de 1000 para estímulos monocromáticos.

### 3.8.1 Zanahoria

En la Figura 42 se observa que la cromaticidad tiende a disminuir al sexto día de almacenamiento, con excepción de la congelación rápida que se mantuvo similar en ambos días de almacenamiento; una disminución en la cromaticidad implica una pérdida de la pureza del color debido al oscurecimiento. Aunque los carotenoides son generalmente estables a los tratamientos de escaldado y congelación, son susceptibles a degradarse por una deshidratación durante el almacenamiento congelado, ó a presentar una reacción de oxidación debido a la presencia de oxígeno (Evans, 2008). Lo anterior sugiere que durante el envasado se debe retirar la mayor cantidad de aire posible, o bien, realizar un envasado al vacío, con el fin de evitar pérdidas de color. Se realizó un análisis de varianza de la cromaticidad, los resultados indican, que hay diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) entre el tiempo de almacenamiento y el método de congelación. Esto se corroboró al hacer un análisis de varianza de una sola vía para los métodos de congelación y los días de almacenamiento, siendo el tiempo de almacenamiento el factor más importante en los cambios de cromaticidad. Por último, la prueba de Tukey muestra que la mezcla en congelación rápida y la mezcla comercial son similares, pero significativamente diferentes de la mezcla en congelación lenta.

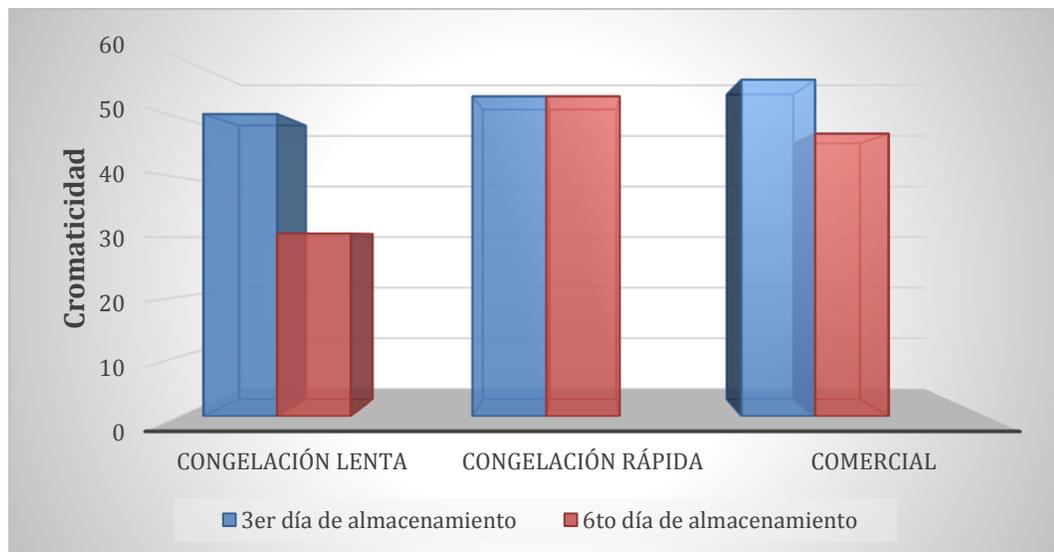


Figura 42. Cambios en la cromaticidad de la zanahoria para los 3 métodos de congelación (variación normal de temperatura).

Algunos estudios afirman que la pérdida de carotenoides es principalmente influenciada por la alta temperatura durante el proceso de cocción y mucho menos por el proceso de congelación. Sin embargo, otros estudios sugieren que el contenido de carotenos en la zanahoria se ve afectado por la congelación y la posterior descongelación de zanahorias (Kong et al., 2016). La Figura 43 muestra un incremento en la cromaticidad al sexto día de almacenamiento, en lugar de disminuir como en las muestras sometidas a variación normal de temperatura, este comportamiento fue similar con respecto a la disminución del ángulo de tono de la zanahoria. Como ya se mencionó, la fluctuación de temperatura y el fenómeno de maduración de Ostwald conllevan a la acumulación de soluciones concentradas, que intensificaron el color de las zanahorias. Se realizó un análisis de varianza de la cromaticidad, los resultados indican, que hay diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) entre el tiempo de almacenamiento y el método de congelación. Esto se corroboró al hacer un análisis de varianza de una sola vía para los métodos de congelación y los días de almacenamiento; el tiempo de almacenamiento es el factor que más influye en el cambio de cromaticidad, en tanto la prueba de Tukey muestra que la mezcla en congelación rápida y la mezcla comercial son similares, pero significativamente diferentes de la mezcla en congelación lenta.

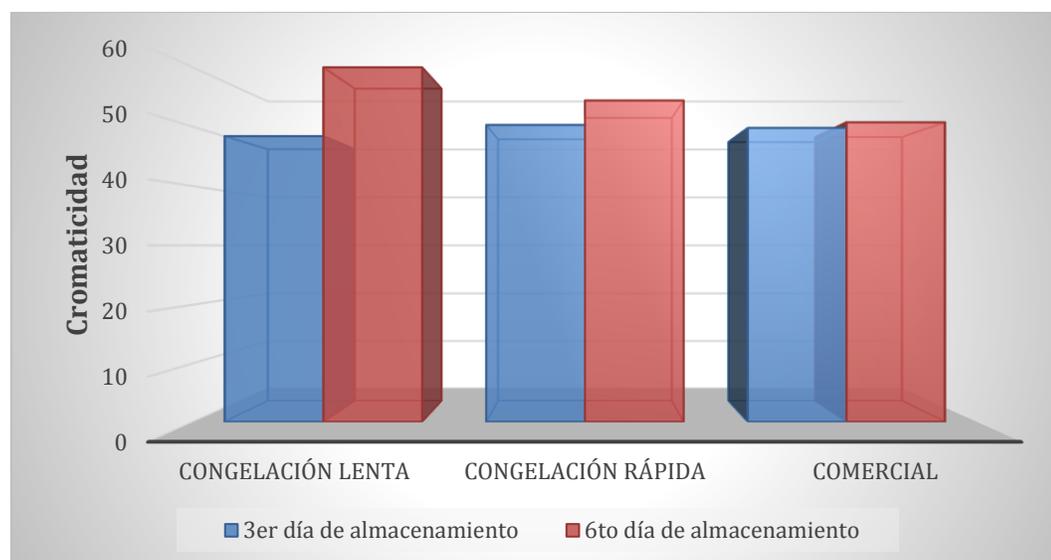


Figura 43. Cambios en la cromaticidad de la zanahoria para los 3 métodos de congelación (variación severa de temperatura).

### 3.8.2 Chícharo

En la Figura 44 se observa que la cromaticidad disminuye al sexto día de almacenamiento, con excepción de la muestra en congelación rápida. Una disminución en la cromaticidad, visualmente se percibe como una pérdida de color, el tono verde de los chícharos es menos vivo y opaco. Patras, Tiwari y Brunton (2011) encontraron que los valores de cromaticidad de judías verdes (escaldadas y en congelación rápida) disminuyen en función del tiempo de almacenamiento. El color se vuelve menos intenso cambiando de un verde vivo a un verde opaco. El análisis estadístico muestra diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) únicamente para los métodos de congelación, que, al ser analizado por la prueba de comparación de medias de tratamientos de Tukey, denota diferencias significativas entre la congelación lenta y la mezcla comercial. Por lo cual, la mezcla de verduras en congelación rápida y la mezcla comercial presentan similitud.

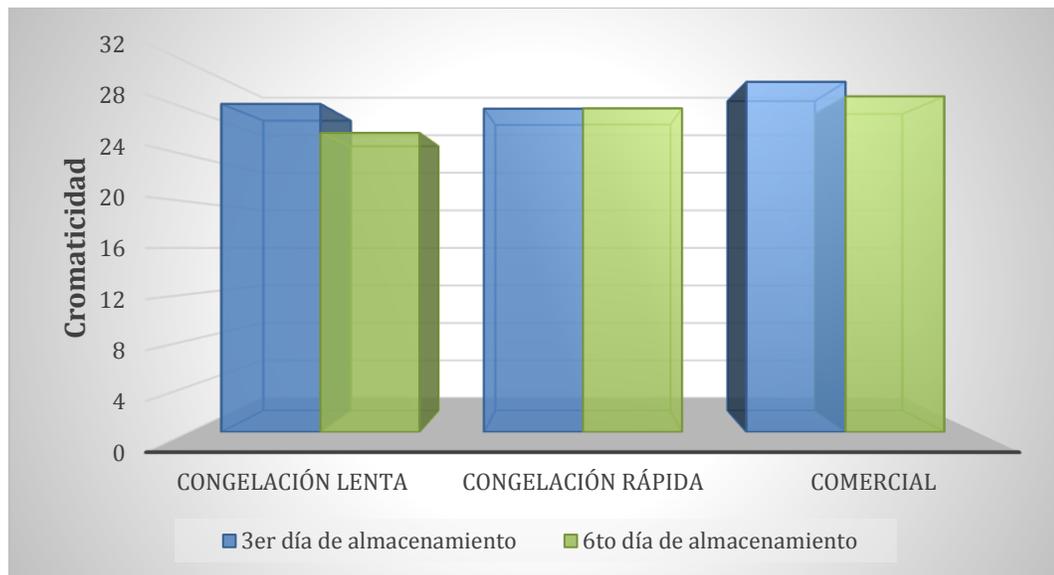


Figura 44. Cambios en la cromaticidad del chícharo para los 3 métodos de congelación (variación normal de temperatura).

En la Figura 45 se observa que todos los tratamientos presentan distintos valores de cromaticidad, esta discrepancia depende en gran medida de la fluctuación de temperatura durante el almacenamiento. Las variaciones de color de las verduras verdes durante el almacenamiento congelado dependen de la

degradación de la clorofila (Dietrich et al., 1957 citado por Evans, 2008). En adición, Martins y Silva (2002), mencionaron que la principal vía de degradación de la clorofila es por la feofitización directa o indirecta de las feofitinas. La alta sensibilidad a la temperatura de almacenamiento asegura que el color verde se estabiliza si se emplean bajas temperaturas durante el almacenamiento congelado. Sin embargo, todas las muestras permanecieron almacenadas por arriba de los  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a diferentes condiciones de fluctuación de temperatura gobernadas por distintos factores como las aberturas de puerta y el encendido y apagado del compresor del equipo de almacenamiento frigorífico. De tal modo que, mientras la mezcla comercial tuvo un descenso lento de temperatura (en 40 h de almacenamiento alcanzó los  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), las muestras en congelación rápida tuvieron un ascenso repentino de temperatura que alcanzó los  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El análisis estadístico muestra diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) únicamente para el tiempo de almacenamiento. Al realizar una prueba de comparación de medias de tratamientos de Tukey, se aprecia una diferencia significativa entre la congelación lenta con respecto a la mezcla comercial y la mezcla en congelación rápida.

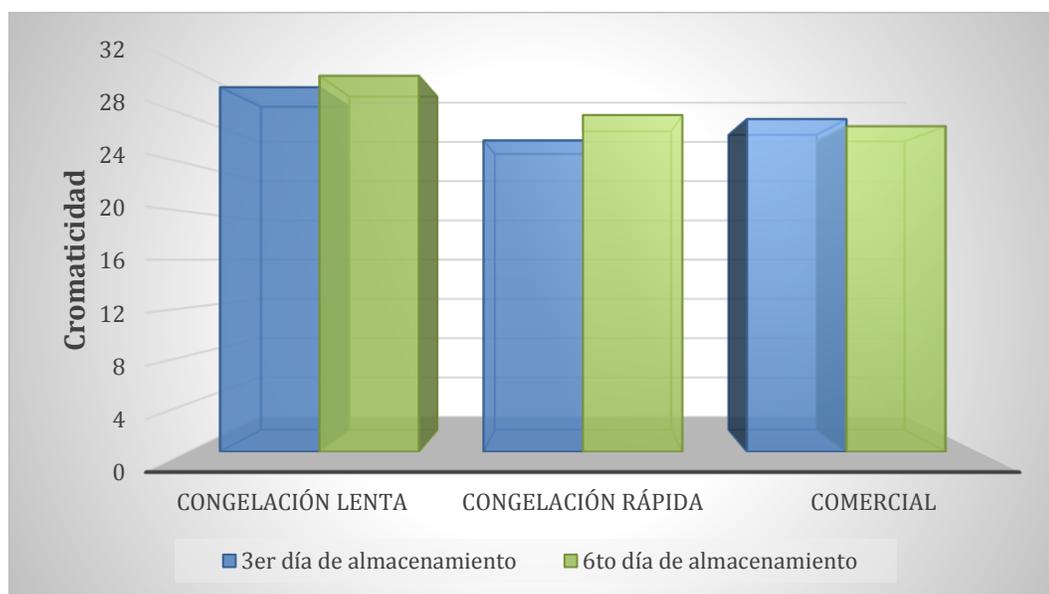


Figura 45. Cambios en la cromaticidad del chícharo para los 3 métodos de congelación (variación severa de temperatura).

### 3.8.3 Elote

Es importante mencionar que la mezcla de verduras comercial contiene maíz dulce amarillo (*Zea mays var Saccharata*), mientras que la mezcla en congelación lenta y congelación rápida contiene maíz blanco, por este motivo los valores de cromaticidad son visiblemente distintos. Fan y Sokorai (2007), reportaron un valor cromático de maíz dulce comercial congelado de 53.9. En la Figura 46 se observa una disminución de la cromaticidad en todos los tratamientos. Cuando la cromaticidad disminuye, el color se torna menos intenso (Lancaster, Lister, Reay y Triggs, 1997 citados por Patras, Tiwari y Brunton, 2011) cambiando de un amarillo vivo a un amarillo opaco. El análisis estadístico demostró una diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) en los métodos de congelación, que se debe fundamentalmente a la variedad de maíz utilizada en la mezcla de elaboración propia y comercial.

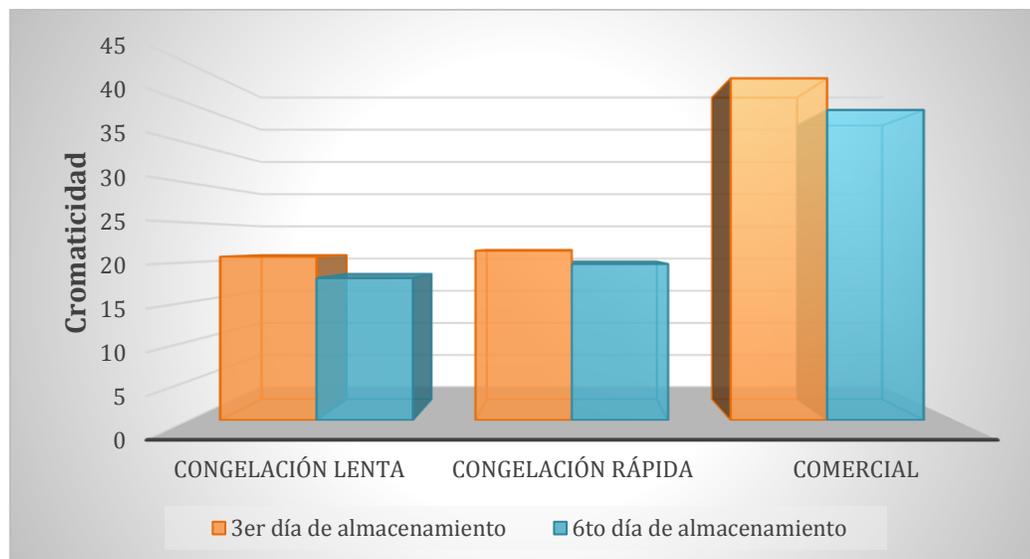


Figura 46. Cambios en la cromaticidad del elote para los 3 métodos de congelación (variación normal de temperatura).

En concreto, la Figura 47 presenta una disminución de la cromaticidad al sexto día de almacenamiento, al igual que las muestras sometidas a variación normal de temperatura, la disminución de la cromaticidad indica un color amarillo apagado. El análisis estadístico demostró una diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) en los métodos de congelación, correspondiendo a lo mencionado por Hui (2006). El

método de congelación influye en el color final del producto congelado, una congelación por chorro de aire conduce a una coloración menos amarilla que el maíz procesado por lecho fluidizado.

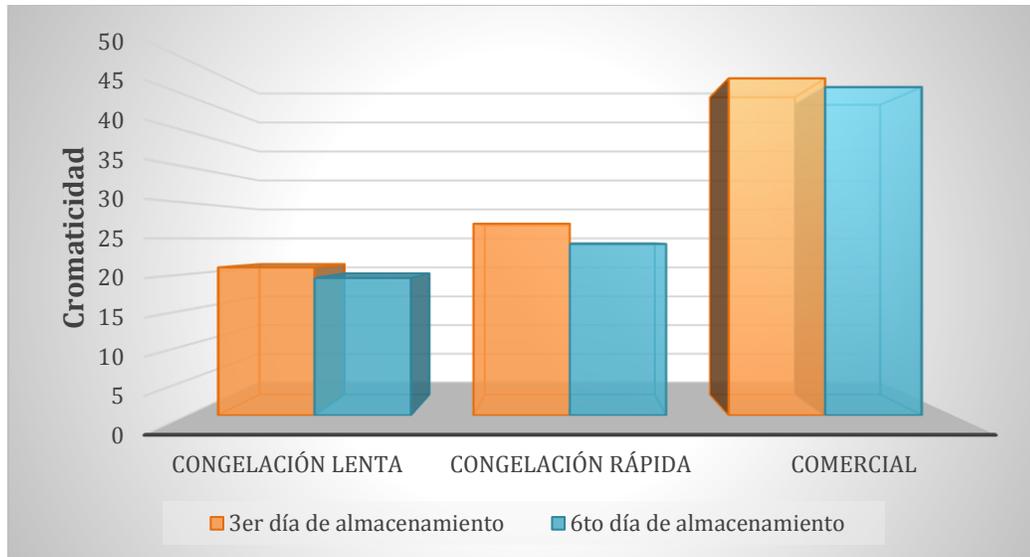


Figura 47. Cambios en la cromaticidad del elote para los 3 métodos de congelación (variación severa de temperatura).

### 3.9 Cambios en pH

En la Figura 48 se observa que los valores de pH son similares en todas las muestras tanto en variación normal de temperatura como en variación severa. Por lo tanto, el pH no tuvo efecto en los atributos de calidad, de acuerdo con el estudio de Lim et al., (2006), quienes estudiaron la influencia de la temperatura de almacenamiento de chícharos congelados en la pérdida de atributos de calidad, observaron un pequeño cambio en el pH después de los períodos de almacenamiento seleccionados (hasta 16 semanas), sin embargo, concluyeron que el pH no tiene efecto en los cambios de color. Por otro parte, se observa un pequeño incremento en el valor del pH al sexto día de almacenamiento, los mismo resultados fueron obtenidos por Mondragón et al., (2006), al estudiar las propiedades fisicoquímicas de hojas de nabo a diferentes tratamientos de escaldado durante el almacenamiento congelado, concluyeron que a mayor tiempo de almacenamiento, el pH incrementaba significativamente en los lotes escaldados

con vapor o agua caliente que en los lotes escaldados con agua caliente y ácido cítrico. El rango de pH permaneció entre 6.5 y 6.8 y un análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) corroboró que no hay diferencias significativas entre los tratamientos.

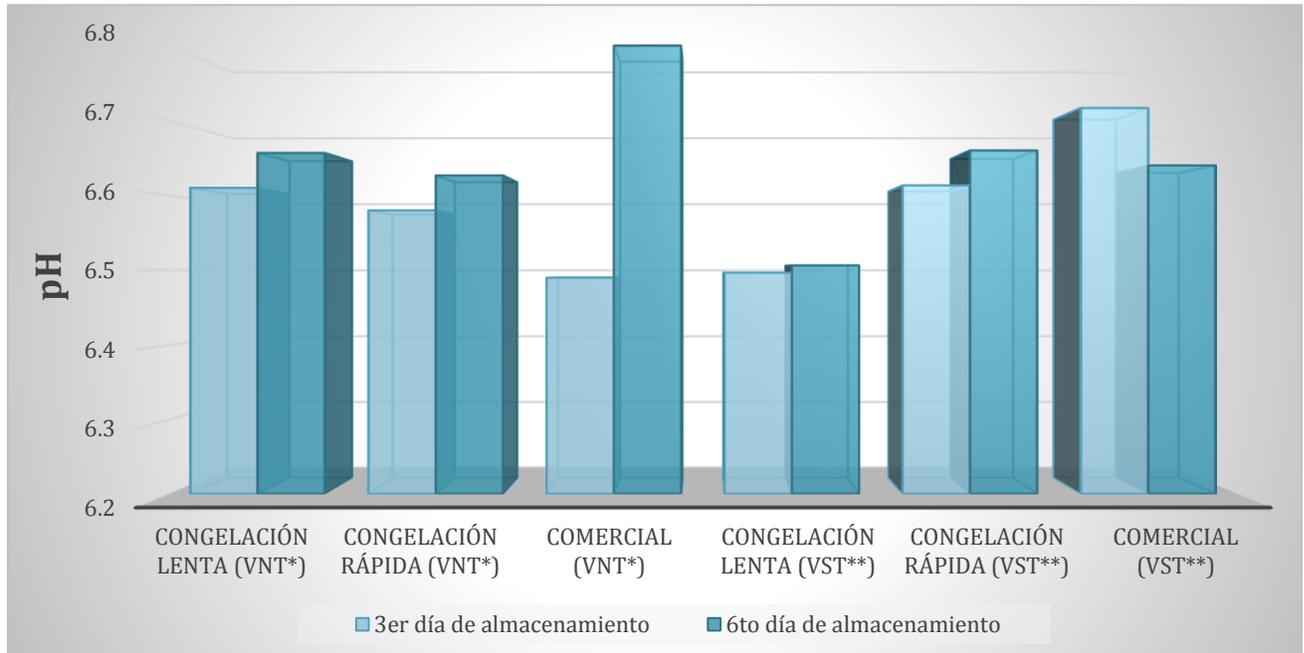


Figura 48. Cambios de pH en los 3 métodos de congelación en variación normal y severa de temperatura. \*Variación Normal de Temperatura, \*\*Variación Severa de Temperatura.

### 3.10 Pérdida de agua

La Figura 49 muestra la pérdida de agua en porcentaje de pérdida de peso, observándose que la pérdida de agua incrementa a medida que transcurren los días de almacenamiento (con excepción de la mezcla de verduras en congelación rápida) consecuencia de la redistribución de los cristales de hielo, debido a la variación de temperatura durante el almacenamiento, estos cristales de hielo dañan la microestructura de los alimentos congelados (Devahastin, 2018). Dicha alteración de la microestructura produce otros efectos además de la pérdida por goteo al descongelar, tales como, cambios en el color, sabor y pérdida de turgencia y textura. Los resultados del análisis de varianza indican, que hay diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) para el tiempo de almacenamiento y el método de congelación.

Cabe resaltar, que la mezcla comercial tuvo una tendencia a liberar mayor agua que el resto de las muestras, esto se debe a que el producto comercial tuvo un descenso lento de temperatura al comenzar el almacenamiento congelado (ver Figuras 28 y 29), además fue expuesto a la temperatura ambiente más alta durante el recorrido en la tienda de autoservicio y el transporte. Estos factores contribuyeron a una mayor pérdida de agua en el producto comercial, como lo señala Herbon y Ceder (2018), los productos perecederos pueden dañarse por variaciones de temperatura (durante el transporte y almacenamiento) y la exposición a temperatura ambiente que representa un riesgo adicional que afecta la calidad y frescura.

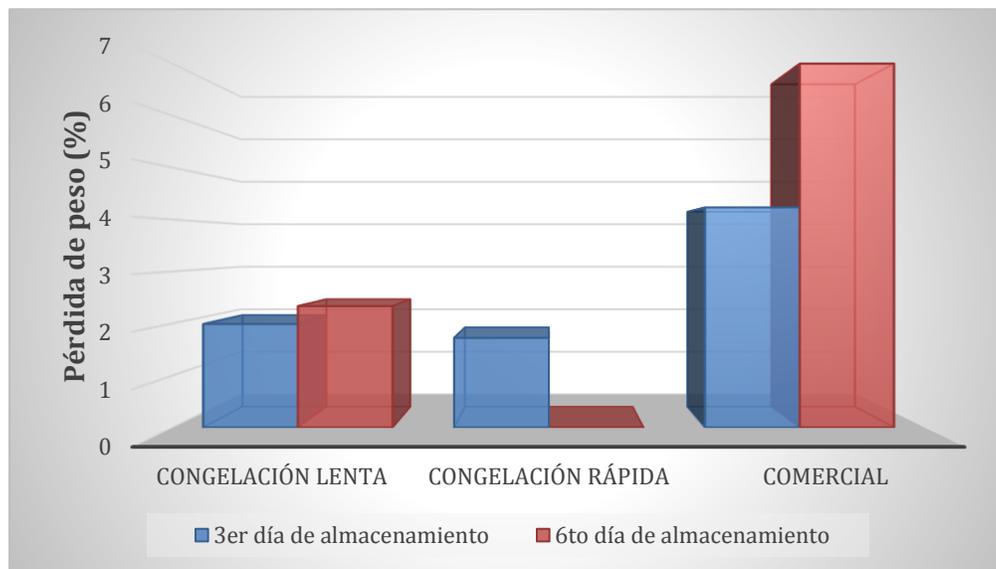


Figura 49. Pérdida de agua en los 3 métodos de congelación en variación normal de temperatura.

En la Figura 50 se observa que la pérdida de agua es mayor al sexto día de almacenamiento para todos los métodos de congelación, al igual que las muestras sometidas a variación normal de temperatura. Por otro lado, el método de congelación influye en la pérdida de agua tras la descongelación, ya que la congelación lenta propicia una mayor pérdida de agua debido al daño estructural extenso por la formación de cristales de hielo más grandes, estos daños liberan el agua de las células y tejidos (George, 1993 citado por Rawson et al., 2012), por ello, la congelación lenta conlleva a una mayor pérdida de agua. De acuerdo a Cheftel et al., 2000 citado por Rawson et al., 2012, los efectos negativos de la

descongelación de alimentos en congelación lenta, son que dificulta la reentrada de hielo extracelular en las células y puede causar una gran pérdida por goteo y suavizar la textura. La prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) mostró diferencia significativa en el tiempo de almacenamiento, en tanto que los métodos de congelación son todos diferentes entre ellos.

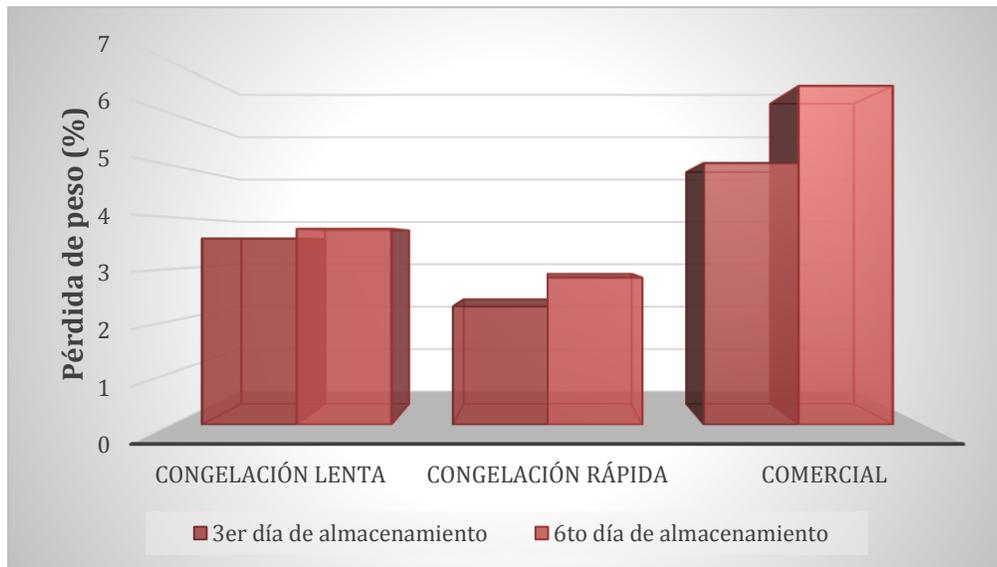


Figura 50. Pérdida de agua en los 3 métodos de congelación en variación severa de temperatura.

### 3.11 Cambios texturales

El estudio realizado por Rawson et al., (2012) mostró el efecto favorable que tiene la congelación rápida en los parámetros texturales en comparación con la congelación lenta, observaron que las zanahorias en congelación lenta requieren una menor fuerza de corte en contraste con las zanahorias en congelación rápida, ya que la congelación rápida conduce a un menor daño en la microestructura de los tejidos del alimento. En la Figura 51 se aprecia que la mezcla de verduras procesada por congelación rápida presenta mayor dureza que las verduras en congelación lenta. Por otra parte, Paciulli et al., (2015) determinaron el impacto del proceso de congelación industrial y el periodo de almacenamiento en la calidad estructural y textural de algunos vegetales, concluyendo que los daños texturales se deben a la

deshidratación celular consecuencia de la pérdida de agua por goteo. Las células se encuentran contraídas y separadas, por una degradación parcial de los componentes de la pared como la pectina. En la figura 51 se observa una pérdida de textura en los tres métodos de congelación al sexto día de almacenamiento. Esta disminución de la textura está relacionada con la pérdida de agua, ya que para todos los métodos de congelación hay mayor liberación de agua al sexto día de almacenamiento, esto quiere decir, que cuanto mayor sea la liberación de agua, también será mayor la pérdida de turgencia y firmeza como consecuencia de la deshidratación celular de los componentes de la mezcla de verduras.

Se realizó un análisis de varianza balanceado ( $\alpha=0.05$ ) para determinar el efecto de los métodos de congelación y el tiempo de almacenamiento en la textura. Se encontró que para la variación normal de temperatura el tiempo de almacenamiento influye en mayor medida sobre los atributos texturales de la mezcla campesina.

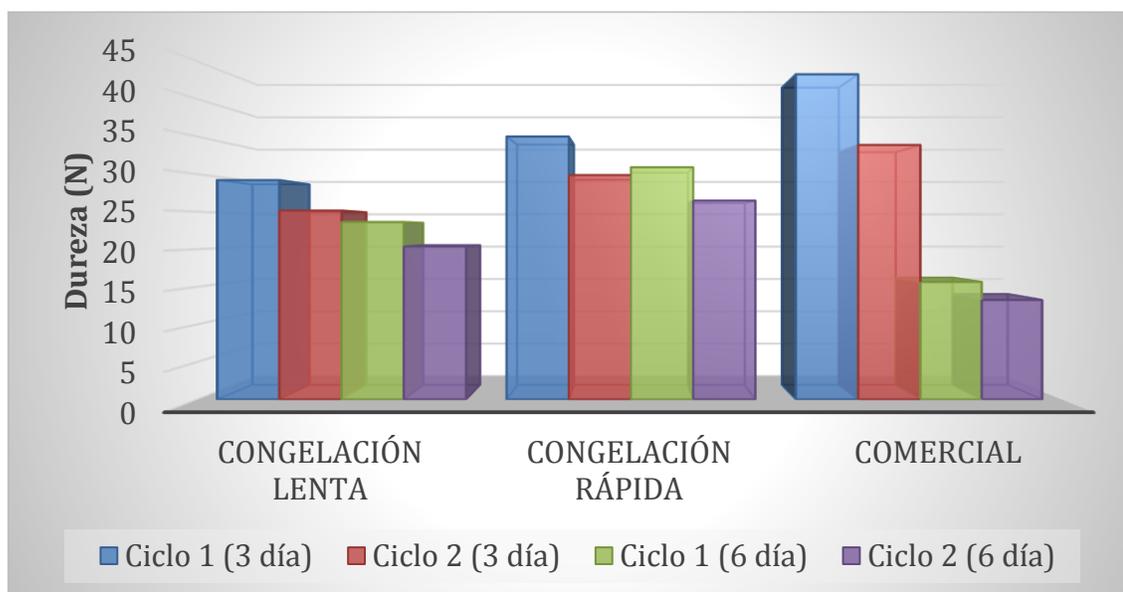


Figura 51. Cambios de textura en la mezcla campesina de verduras en variación normal de temperatura.

Urquiola et al., (2017) afirman que la calidad de las verduras congeladas es afectada por la fluctuación de temperatura durante el almacenamiento congelado. En este sentido, la mezcla de verduras en congelación lenta y variación severa de temperatura (Figura 31), es la que tuvo menor fluctuación de temperatura durante

el almacenamiento que el resto, lo cual trajo un efecto benéfico en el atributo de textura. La textura entre el tercer y sexto día de almacenamiento permaneció similar (ver figura 52), la dureza del ciclo 1 al tercer día de almacenamiento es de 19.7 N y de 17.3 N al sexto día de almacenamiento, esto representa un cambio de textura de tan solo 12% entre el tercer y sexto día de almacenamiento.

Es importante destacar que la mezcla de verduras comercial tanto en variación normal de temperatura como en variación severa de temperatura, tuvo la mayor pérdida de textura al sexto de almacenamiento, dado que la textura, es uno de los factores de calidad más importantes de las verduras congeladas desde el punto de vista del consumidor (Hui et al., 2004), es importante reducir al máximo el tiempo que las verduras congeladas pasan en almacenamiento frigorífico doméstico, para aprovechar las características de frescura de las verduras congeladas.

Un análisis de varianza balanceado ( $\alpha=0.05$ ) para determinar el efecto de los métodos de congelación y el tiempo de almacenamiento en la textura, mostró que el tiempo de almacenamiento es el factor que influye en mayor medida sobre los cambios texturales de la mezcla campesina de verduras.

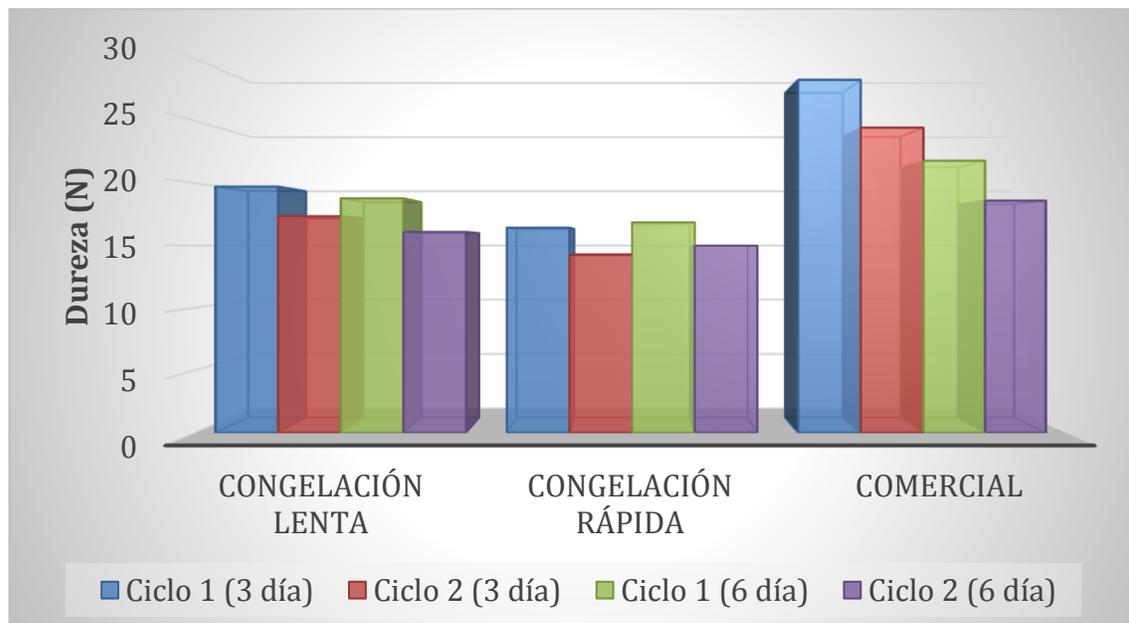


Figura 52. Cambios de textura en la mezcla campesina de verduras en variación severa de temperatura.

### 3.12 Microscopía

Las imágenes tomadas por el microscopio electrónico son un referente de la cantidad de agua descongelada durante el almacenamiento frigorífico doméstico y su fluctuación de temperatura. Las imágenes de los cristales de hielo formados en la superficie de las verduras congeladas se muestran en la tabla 10.

Los pequeños cristales de hielo son termodinámicamente inestables debido a su alta energía libre de superficie. Los cristales de hielo tienden a crecer formando grandes cristales de hielo estables (Bund y Hartel, 2010 citados por Devahastin, 2018). Las imágenes capturadas por el microscopio muestran que para todos los métodos de congelación incrementa el tamaño de los cristales de hielo al sexto día de almacenamiento. Este efecto es más evidente en las muestras que fueron sometidas a variación severa de temperatura, la exposición a temperatura ambiente por mayor tiempo condujo a la descongelación de las verduras y la subsecuente liberación de agua, la recristalización de esta agua se ve reflejada en la cantidad de cristales de hielo formados en la superficie de las verduras.

Tabla 10. Microscopia de todos los tratamientos en variación normal y severa de temperatura.

	VARIACIÓN NORMAL DE TEMPERATURA		VARIACIÓN SEVERA DE TEMPERATURA	
	Tercer día de almacenamiento	Sexto día de almacenamiento	Tercer día de almacenamiento	Sexto día de almacenamiento
Mezcla comercial				
Congelación Lenta				
Congelación rápida				

La mezcla comercial de verduras en variación severa de temperatura al sexto día de almacenamiento, presentó una mayor aglomeración de cristales de hielo que el resto de las muestras; estos cristales de mayor tamaño provocaron un efecto negativo en los parámetros de calidad, ya que esta muestra tuvo la mayor pérdida de agua y un descenso del 23% en la dureza entre el tercer y sexto día de almacenamiento. Esto corresponde a lo mencionado por Devahastin (2018), los cambios de tamaño, forma, y distribución de los cristales de hielo produce cambios indeseables en la textura y propiedades sensoriales de los alimentos congelados. Estos cristales de hielo destruyen la integridad de la célula disminuyendo la turgencia y causando gran pérdida de agua durante la descongelación.

## CONCLUSIONES

Con base a los resultados experimentales se concluye que el tiempo de almacenamiento es el factor que influye en mayor medida sobre la pérdida de atributos de calidad, conduciendo a una disminución de textura, mayor pérdida de agua y oscurecimiento de las verduras como consecuencia de la disminución de la cromaticidad, siendo el chícharo y el elote los componentes más afectados de la mezcla campesina. La pérdida de agua está influenciada por el crecimiento del tamaño de los cristales de hielo a medida que transcurren los días de almacenamiento, los cristales causan daño mecánico a los tejidos del alimento, la consecuencia de estos daños se ve reflejado en la pérdida de agua y en la disminución de la textura.

Por otra parte, la congelación lenta denota cambios severos en el color, pérdida de agua y textura entre el tercer y sexto día de almacenamiento, en comparación con la mezcla campesina de verduras en congelación rápida. Demostrando así, los beneficios de emplear un método de congelación rápida.

Por último, se concluye que un mal manejo de las verduras congeladas debido a tiempos prolongados de exposición a temperatura ambiente y a la fluctuación de temperatura durante el almacenamiento frigorífico doméstico, tiene un grave efecto en el deterioro de los atributos de calidad. A través de los gráficos elaborados y la prueba de comparación de medias de Tukey se demostró similitud entre la mezcla en congelación rápida y la mezcla comercial, esto confirma que la mezcla comercial es elaborada a partir de un método de congelación rápida, siendo este método el más adecuado para preservar los atributos de calidad de la mezcla campesina de verduras.

## **RECOMENDACIONES**

### **I. Tiendas de autoservicio**

- Dado que el tiempo de almacenamiento es el factor que más afecta la calidad de las verduras congeladas, sería útil realizar un estudio para determinar la cantidad promedio de verduras que son consumidas, con el fin de que toda la bolsa sea consumida y evitar guardar porciones en el congelador.
- Cambiar de sitio el área de los congelados en todas las tiendas de autoservicio: en la mayoría de las tiendas esta área se ubica al fondo del establecimiento, por lo cual, es conveniente situar el área de los alimentos congelados al final del recorrido (cerca de las cajas), con el fin de reducir el tiempo que pasan los congelados fuera del almacenamiento frigorífico.
- Ofrecer bolsas aisladas térmicamente en la compra de productos congelados: estas bolsas ayudan a disminuir las fluctuaciones de temperatura durante el transporte y conservan la temperatura del alimento por mayor tiempo.
- Fomentar la compra de alimentos por internet con entrega a domicilio: la forma más efectiva de garantizar el cumplimiento de la cadena del frío hasta el congelador del consumidor, es entregando los productos congelados hasta la puerta del hogar, siempre y cuando el transporte sea refrigerado.

### **II. Consumidores**

- Informar al consumidor acerca de la pérdida de atributos de calidad debido al mal manejo de las verduras congeladas.
- Consumir la totalidad del producto: evitar dejar porciones en el congelador.
- En una tienda de autoservicio, las compras deben terminar en el área de congelados.
- Almacenar inmediatamente los productos congelados: colocar las verduras congeladas en el almacenamiento frigorífico doméstico tan pronto sea posible y evitar prolongar el tiempo de exposición a temperatura ambiente de estos productos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASHRAE (2002), Thermal Properties of Foods. En: Refrigeration Handbook SI Edition (ASHRAE, eds), pp 8.1-8.30.
- Arthey, D. (1992). Procesado de hortalizas. 1a ed. Zaragoza, España: Acribia.
- Benítez Cardoza, C. G. (2006). El Maíz: origen, composición química y morfología. *Materiales Avanzados*, 7, 15-20.
- CODEX STAN 320-2015. Norma para hortalizas congeladas rápidamente.
- Cruz Delgado, D., Leos Rodríguez, J. A. y Altamirano Cárdenas, R. J. (2013). México: Factores explicativos de la producción de frutas y hortalizas ante la apertura comercial. *Revista Chapingo serie Horticultura*, 19, 267-278.
- Da Wen, S. (2012). Handbook of Frozen Food Processing and Packaging. 2a ed. Boca Ratón, Florida: CRC Press.
- Devahastin, S. (2018). Microestructural changes and their relationship with quality and stability of frozen foods. In: Food Microstructure and Its Relationship with Quality and Stability (Charoenrein, Sanguansri, ed.), Pp. 123-130. Duxford, United Kingdom: Woodhead Publishing.
- Evans, J.A. (2008). Consumer handling of frozen foods. In: Frozen food science and technology. (Laguerre, Onrawee, ed.), Pp. 325-346. Oxford, United Kingdom: Blackwell Publishing.
- Echánove Huacuja, F. (2000). La industria mexicana de hortalizas congeladas y su integración a la economía estadounidense. *investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM*. 43, 105-121.
- Fan, X. and Sokorai, J. B. (2007). Effects of Ionizing Radiation on Sensorial, Chemical, and Microbiological Quality of Frozen Corn and Peas. *Journal of Food Protection*. 70, 1901–1908.
- Fundación Española de la nutrición (2017). Mercado saludable de los alimentos. Disponible en [http://www.fen.org.es/mercadoFen/mercadofen\\_ajus\\_General.html](http://www.fen.org.es/mercadoFen/mercadofen_ajus_General.html). Consultado 28 de octubre 2017.

- GOB (2017), Zanahoria: *Daucus carota*. Disponible en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/96357/Zanahoria\\_monografias.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/96357/Zanahoria_monografias.pdf). Consultado 20 de octubre 2017.
- Gómez Sánchez, A. I., Cerón Carrillo, T. G., Rodríguez Martínez, V., Vázquez Aguilar, M. M. (2007). Aspectos tecnológicos de la congelación en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 1, 80-96.
- Gómez Cruz, M. A. (1986). Sistema agroindustrial de hortalizas congeladas en México. *Revista Geografía Agrícola*. 13, 132-145.
- Gonçalves, E. M., Abreu, M., Brandão, T., Silva, Cristina L.M. (2011). Degradation kinetics of colour, vitamin C and drip loss in frozen broccoli (*Brassica oleracea* L. ssp. *Italica*) during storage at isothermal and non-isothermal conditions. *International Journal of Refrigeration*. 34, 2136-2144.
- Gormley, R., Walshe, T., Hussey, K. and Butler F. (2002). The Effect of Fluctuating vs. Constant Frozen Storage Temperature Regimes on Some Quality Parameters of Selected Food Products. *LWT - Food Science and Technology*. 35, 190-200.
- Gruda, Z. (1986). Tecnología de la congelación de los alimentos. 1a ed. Zaragoza, España: Acribia.
- Heldman, D. R. and Singh, P.R. (2009). Food Process Engineering. 4a ed. Massachusetts, USA: Avi.
- Heldman, D. R. and Singh, P.R. (2009). Introducción a la ingeniería de los alimentos. 2a ed. Zaragoza, España: Acribia.
- Herbon, A. and Ceder, A. (2018). Monitoring perishable inventory using quality status and predicting automatic devices under various stochastic environmental scenarios. *Journal of Food Engineering*. 223, 236-247.
- Holdsworth, S. D. (1988). Conservación de Frutas y Hortalizas. 1a ed. Zaragoza, España: Acribia.
- Hui, Y.H., Ghazala, S., Graham, D. M., Murrel, K. D. and Nip W. K. (2004). Quality control in Frozen Vegetables. In: Handbook of Vegetable Preservation and Processing (Martínez Romero D., Castillo S. and Valero D., eds.), Pp. 283-293. New York, USA: CRC Press.
- Hui, Y.H. (2006). Food Sensory Attributes. In: Handbook of Food Science, Technology, and Engineering - 4 Volume Set (Coggins Patti C. and Chamul Roberto S., eds.), Pp. 1-38. Boca Ratón, Florida: CRC Press.

- IA Alimentos (2016). Verduras congeladas, un negocio con futuro. Revista Alimentos. Disponible en <https://revistaialimentos.com.co/noticias/verduras-congeladas-negocio-con-futuro-2>. Consultado 21 de noviembre 2017.
- IIF (1990). Alimentos congelados: procesado y distribución. Zaragoza, España: Acribia.
- Interior (2018). Interior: Cosechas de la República Dominicana: La zanahoria. Disponible en <https://interiorrd.com/la-zanahoria/>. Consultado 13 de febrero de 2018.
- Kong Charles, H. Z., Hamid, N., Liu, T. and Sarojini, V. (2016). Effect of Antifreeze Peptide Pretreatment on Ice Crystal Size, Drip Loss, Texture, and Volatile Compounds of Frozen Carrots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 64, 4327–4335.
- Konica Minolta (2017). Identificando Diferencias de Colores usando coordenadas L\*a\*b\* o L\*C\*H\*. Disponible en <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/08/identificando-diferencias-de-colores-usando-coordenadas-lab-o-lch>. Consultado 27 noviembre 2017.
- Lim, M., Wu, H., Breckell, M. and Birch, J. (2006). Influence of the glass transition and storage temperature of frozen peas on the loss of quality attributes. *International Journal of Food Science and Technology*. 41, 507-512.
- Machado Velasco, K. M. y Vélez Ruiz, J. F. (2008). Estudio de propiedades físicas de alimentos mexicanos durante la congelación y el almacenamiento congelado. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 7, 41-54.
- Mathias, K. and Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agrosur*, 2, 39-48.
- Mazzeo, T., Denis, C.E., Visconti, A., Fogliano, V. and Pellegrini, N. (2011). Effect of two cooking procedures on phytochemical compounds, total antioxidant capacity and colour of selected frozen vegetables. *Food Chemistry*. 128, 627-633.
- Martins, R.C. and Silva, C.L.M. (2002). Modelling colour and chlorophyll losses of frozen green beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). *International Journal of Refrigeration*. 25, 966-974.
- Martins, R.C. and Silva, C.L.M. (2004). Frozen green beans (*Phaseolus vulgaris*, L.) quality profile evaluation during home storage. *Journal of Food Engineering*. 64, 481-488.
- Mondragón, A. d. C., Pena Martínez, B., Fernández Fernández, E., Romero-Rodríguez, A. and Vázquez Odériz, L. (2006), Effects of different pre-freezing blanching procedures on the physicochemical properties of Brassica rapa

- leaves (*Turnip Greens, Grelós*). *International Journal of Food Science & Technology*. 41, 1067–1072.
- Nagaoka, J., Takagi, S., and Hotani, S., (1955), Experiments on the freezing of fish in air blast freezer. *Proc. 9th Intern. Congr. Refrig.* 2,4.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (1993). *El maíz en la nutrición humana*. Roma: FAO.
- Orrego Alzate, C. E. (2003), *Procesamiento de alimentos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Orrego Alzate, C. E. (2008). *Congelación y liofilización de alimentos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Paciulli, M., Ganino, T., Pellegrini, N., Rinaldi, M., Zaupa, M., Fabbri, A. and Chiavaro, E. (2015). Impact of the industrial freezing process on selected vegetables — Part I: Structure, texture and antioxidant capacity. *Food Research International*. 74, 329-337.
- Patras, A., Tiwari, B.K. and Brunton, N.P. (2011). Influence of blanching and low temperature preservation strategies on antioxidant activity and phytochemical content of carrots, green beans and broccoli. *Food Science and Technology*. 44, 299-306.
- Plank, R. (1984). *El empleo del frío en la industria de la alimentación*. Barcelona, España: Reverté.
- Rawson, A., Tiwari, B. K., Tuohy, M., Brunton, N. (2012). Impact of frozen storage on polyacetylene content, texture and colour in carrots disks. *Journal of Food Engineering*. 108, 563–569.
- SAGARPA (2017), Boletín mensual: Balanza disponibilidad - consumo maíz blanco Disponible en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/242035/Balanza\\_disponibilidad\\_consumo\\_julio\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/242035/Balanza_disponibilidad_consumo_julio_2017.pdf). Consultado 28 de octubre de 2017
- SIAP (2016). Casi la totalidad de las verduras mexicanas congeladas van al extranjero. Disponible en <https://www.gob.mx/siap/articulos/casi-la-totalidad-de-las-verduras-mexicanas-congeladas-van-al-extranjero?idiom=es>. Consultado 3 octubre de 2017.
- Torres Torres, F. (1997). *Dinámica económica de la industria alimentaria y patrón de consumo en México*. México: Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM.
- Umaña Cerros, E. (2011). *Conservación de alimentos por frío: Refrigeración/Congelamiento*. Fusades: El Salvador.

- Urquiola, A., Alvarez, G., Flick, D. (2017). Frost formation modeling during the storage of frozen vegetables exposed to temperature fluctuations. *Journal of Food Engineering*. 214, 16-18.
- Viteri, M. L. (2003). Estudios Agroalimentarios. Componente A: Fortalezas y debilidades del sector agroalimentario (Documento 14: Hortalizas congeladas). Buenos Aires, Argentina: IICA-Argentina.
- WALMART (2017). Verduras congeladas en Walmart. Disponible en [https://super.walmart.com.mx/Congelados/Frutas-y-Verduras-Congeladas/Verduras-Congeladas/\\_/N-9lx](https://super.walmart.com.mx/Congelados/Frutas-y-Verduras-Congeladas/Verduras-Congeladas/_/N-9lx). Consultado 24 de noviembre de 2017.
- Zin Z., Phang Yan M., Nasution Z., Chong Kah H., Zainol M. (2017). Effect of pre-treatment on physical properties, ascorbic acid and  $\beta$ -carotene content of frozen sweet corn kernels hibrimas (*Zea mays* var *Saccharata* BAILEY) Variety. *Malaysian Applied Biology*. 46, 23-31.

# **ANEXOS**

## ANEXO A. Modelos de propiedades térmicas para componentes de alimentos

Las propiedades térmicas de la zanahoria, chícharo y elote fueron calculadas a partir de las ecuaciones mostradas en la tabla A, las cuales se basan en la composición química del alimento.

Tabla A. Modelos de propiedades térmicas para componentes de alimentos ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T \leq 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (ASHRAE, 2002).

Propiedad térmica	Componente	Ecuación de propiedad térmica
Conductividad térmica, $W/(m \cdot ^{\circ}C)$	Proteína	$k = 1.7881 \times 10^{-1} + 1.1958 \times 10^{-3}t - 2.7178 \times 10^{-6}t^2$
	Grasa	$k = 1.8071 \times 10^{-1} - 2.7604 \times 10^{-3}t - 1.7749 \times 10^{-7}t^2$
	Carbohidratos	$k = 2.0141 \times 10^{-1} + 1.3874 \times 10^{-3}t - 4.3312 \times 10^{-6}t^2$
	Fibra	$k = 1.8331 \times 10^{-1} + 1.2497 \times 10^{-3}t - 3.1683 \times 10^{-6}t^2$
	Ceniza	$k = 3.2962 \times 10^{-1} + 1.4011 \times 10^{-3}t - 2.9069 \times 10^{-6}t^2$
Densidad, $kg/m^3$	Proteína	$\rho = 1.3299 \times 10^3 - 5.1840 \times 10^{-1}t$
	Grasa	$\rho = 9.2559 \times 10^2 - 4.1757 \times 10^{-1}t$
	Carbohidratos	$\rho = 1.5991 \times 10^3 - 3.1046 \times 10^{-1}t$
	Fibra	$\rho = 1.3115 \times 10^3 - 3.6589 \times 10^{-1}t$
	Ceniza	$\rho = 2.4238 \times 10^3 - 2.8063 \times 10^{-1}t$
Calor específico, $kJ/(kg \cdot ^{\circ}C)$	Proteína	$c_p = 2.0082 + 1.2089 \times 10^{-3}t - 1.3129 \times 10^{-6}t^2$
	Grasa	$c_p = 1.9842 + 1.4733 \times 10^{-3}t - 4.8008 \times 10^{-6}t^2$
	Carbohidratos	$c_p = 1.5488 + 1.9625 \times 10^{-3}t - 5.9399 \times 10^{-6}t^2$
	Fibra	$c_p = 1.8459 + 1.8306 \times 10^{-3}t - 4.6509 \times 10^{-6}t^2$
	Ceniza	$c_p = 1.0926 + 1.8896 \times 10^{-3}t - 3.6817 \times 10^{-6}t^2$

La mezcla campesina está compuesta por zanahoria, chícharo y elote, por lo cual se calculó un promedio de las propiedades térmicas de estos 3 componentes en estado congelado y no congelado. La humedad promedio fue de 83.4%. Los resultados se muestran en la tabla B.

## ANEXO B. Propiedades térmicas de la zanahoria, chícharo y elote.

Tabla B. Propiedades térmicas de la zanahoria, chícharo y elote.

	Producto no congelado			Producto congelado		
	Cp kJ/(kg·°C)	Kt W/(m·°C)	ρ kg/m <sup>3</sup>	Cp kJ/(kg·°C)	Kt W/(m·°C)	ρ kg/m <sup>3</sup>
Zanahoria	3.8941	0.5726	1033.83	3.8889	0.504	1034.51
Chícharo	3.613	0.5334	1069.75	3.599	0.4676	1071.76
Elote	3.792	1053.49	0.5656	3.783	0.497	1054.29
Promedio	3.766	0.56	1052.3	3.757	1053.52	0.489

Con los valores anteriores (Cp, Kt y ρ) y las condiciones de temperatura a las cuales se llevó el proceso de congelación, se realizó el cálculo de diferencia de entalpía para la congelación rápida y la congelación lenta.

$$\lambda = 333.72 \frac{kJ}{kg} (0.834) = 277.905 \frac{kJ}{kg}$$

- Congelación lenta

$$\begin{aligned} \Delta H &= (1 + 0.00445(20 + 1.7)^\circ C) (3.766 \frac{kJ}{Kg^\circ C} (20 + 1.7)^\circ C) + 277.905 \frac{kJ}{kg} \\ &\quad + 3.757 \frac{kJ}{Kg^\circ C} (-1.7 + 20)^\circ C = 469.71 \frac{kJ}{Kg} \end{aligned}$$

- Congelación rápida

$$\begin{aligned} \Delta H &= (1 + 0.00445(18 + 1.7)^\circ C) (3.766 \frac{kJ}{Kg^\circ C} (18 + 1.7)^\circ C) + 277.905 \frac{kJ}{kg} \\ &\quad + 3.757 \frac{kJ}{Kg^\circ C} (-1.7 + 20)^\circ C = 457.715 \frac{kJ}{Kg} \end{aligned}$$

## ANEXO C. Constantes de la ecuación de Plank

Finalmente, para aplicar la ecuación de Nagaoka se requiere del coeficiente de transferencia de calor (convección natural y convección forzada de aire) y el valor de las constantes geométricas R y P, las cuales corresponden a la geometría de una placa. Estos datos se encuentran en las tablas C y D.

Tabla C. Valores de las constantes de la ecuación de Plank (Gómez et al., 2007).

Forma	P	R
Placa infinita	1/2	1/8
Cilindro infinito	1/4	1/16
Esfera	1/6	1/24

Tabla D. Coeficientes convectivos de transferencias de calor durante la congelación (Gómez et al., 2007).

Condición	Coeficiente de transferencia de calor (W/m <sup>2</sup> K)
Circulación natural	5
Chorro de aire	22
Congelación por contacto de placas	56
Circulación lenta en salmuera	56
Circulación rápida en salmuera	85

Cálculo del tiempo de congelación con la ecuación de Nagaoka

a) Congelación lenta

$$t_F = \frac{469.71 \frac{kJ}{kg} \times 1052.3 \frac{kg}{m^3} \times 1000 \frac{J}{kJ}}{3600 \frac{s}{h} (-1.7 + 28.5)^\circ C} \left[ \frac{1}{8} (0.013m)^2}{0.56 \frac{W}{m^2^\circ C}} + \frac{1}{2} (0.013)}{5 \frac{W}{m^2^\circ C}} \right] = 6.85h$$

b) Congelación rápida

$$t_F = \frac{457.715 \frac{kJ}{kg} \times 1052.3 \frac{kg}{m^3} \times 1000 \frac{J}{kJ}}{3600 \frac{s}{h} (-1.7 + 16)^\circ C} \left[ \frac{1}{8} (0.013m)^2}{0.56 \frac{W}{m^2^\circ C}} + \frac{1}{2} (0.013)}{22 \frac{W}{m^2^\circ C}} \right] = 6.85h$$

El registro de las aberturas de puerta del congelador doméstico se muestra en las tablas E, F y G.

# APÉNDICE

## APÉNDICE 1. Registro de aperturas de la puerta del congelador

Tabla E. Registro de aperturas de la puerta del congelador para la mezcla campesina de verduras comercial en variación normal y severa de temperatura.

Fecha	Hora	Tiempo aproximado de abertura (s)	Fecha	Hora	Tiempo aproximado de abertura (s)
17 de octubre de 2017	11:04	10	24 de octubre de 2017	10:52	15
17 de octubre de 2017	17:02	10	24 de octubre de 2017	17:40	10
18 de octubre de 2017	10:54	3	24 de octubre de 2017	17:46	10
18 de octubre de 2017	11:44	8	25 de octubre de 2017	10:05	10
18 de octubre de 2017	13:54	2	25 de octubre de 2017	10:32	10
18 de octubre de 2017	14:49	2	25 de octubre de 2017	13:20	5
19 de octubre de 2017	7:40	2	25 de octubre de 2017	13:30	10
19 de octubre de 2017	8:45	5	26 de octubre de 2017	9:26	12
19 de octubre de 2017	17:32	10	26 de octubre de 2017	11:52	2
20 de octubre de 2017	8:13	19	26 de octubre de 2017	12:05	15
20 de octubre de 2017	8:30	30	27 de octubre de 2017	7:47	10
20 de octubre de 2017	10:08	2	27 de octubre de 2017	10:54	5
20 de octubre de 2017	13:32	5	27 de octubre de 2017	14:28	5
20 de octubre de 2017	13:46	3	27 de octubre de 2017	14:30	5
20 de octubre de 2017	14:07	7	30 de octubre de 2017	8:00	10
23 de octubre de 2017	8:12	20			

Tabla F. Registro de aberturas de la puerta del congelador para la mezcla campesina de verduras congelación lenta en variación normal de temperatura.

Fecha	Hora	Tiempo aproximado de abertura (s)
31 de octubre de 2017	10:00	6
31 de octubre de 2017	13:05	10
31 de octubre de 2017	13:12	5
3 de noviembre 2017	8:30	60
3 de noviembre 2017	10:50	5
3 de noviembre 2017	10:59	2
3 de noviembre 2017	14:50	5
6 de noviembre 2017	8:02	10

Tabla G. Registro de aberturas de la puerta del congelador para la mezcla campesina de verduras congelación rápida en variación normal y severa de temperatura.

Fecha	Hora	Tiempo aproximado de abertura (s)
10 de noviembre 2017	11:04	10
10 de noviembre 2017	17:02	10
10 de noviembre 2017	10:54	10
13 de noviembre 2017	11:44	20
13 de noviembre 2017	13:54	10
13 de noviembre 2017	14:49	3
13 de noviembre 2017	7:40	3
13 de noviembre 2017	8:45	3
15 de noviembre 2017	17:32	13
15 de noviembre 2017	8:13	3