



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN



13
2 ej

FALLA DE ORIGEN
CAMBIOS DE TEXTURA Y COLOR EN FRESA Y
BROCOLI SOMETIDOS A DIFERENTES PROCESOS
DE CONGELACION-DESCONGELACION

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A
PEDRO GALEANA MORALES

ASESOR
I. A. ALFREDO ALVAREZ CARDENAS



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 está 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 CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

AL M. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el trabajo de tesis: Cambios de textura y color en fresa y brócoli sometidos a diferentes procesos de congelación-descongelación.

que presenta el pasante: Pedro Galeana Morales
con número de cuenta: 8426240 - 6 para obtener el TITULO de:
Ingeniero en Alimentos

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

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautilán Izcalli, Edo. de Méx., a 8 de mayo de 1995

PRESIDENTE	I.B.Q. Jaime Flores Minutti	
VOCAL	I.B.Q. Norma B. Casas Alencaster	
SECRETARIO	I.A. Alfredo Alvarez Cárdenas	
1er. SUPLENTE	Dr. José Luis Arjona Román	
2do. SUPLENTE	I.A. Laura M. Cortazar Figueroa	

AGRADECIMIENTOS



Con admiración y respeto a mis padres por que con su apoyo he logrado recibir la herencia más valiosa de la vida, el conocimiento.

A mis hermanos Elia, Juan y Eloisa, por su compañía y apoyo incondicional.

A mis amigos por su amistad y por todas las vicisitudes que compartimos.

A Lilia mi amiga y compañera.

A la familia Cornejo Romero por su apoyo para la realización de este trabajo.

RECONOCIMIENTOS



Expreso un sincero reconocimiento a todos los profesores que a lo largo de mi vida compartieron su tiempo y conocimientos.

Agradezco a los siguientes profesores por su gentil cooperación para la realización de este trabajo.

 I.A. Alfredo Álvarez Cárdenas por su calificado auxilio técnico que me procuró continuamente y por las distintas ocasiones que atendió a mis consultas y resolvió mis dudas.

 Dra. Laura Patricia Martínez Padilla por permitirme el uso de las instalaciones y equipo del Laboratorio de Propiedades Reológicas y Funcionales de Alimentos, de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

 I.B.Q. Norma Beatriz Casas Alencaster por sus valiosas observaciones con las que, de muchas maneras, mejoró este trabajo.



Índice

RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
1. GENERALIDADES	
1.1. Desarrollo de la industria en la congelación de alimentos	4
1.2. Antecedentes. Materia prima.	
1.2.1. Fresa	5
1.2.1.1. Historia	5
1.2.1.2. Botánica	6
1.2.1.3. Variedades cultivadas en México	7
1.2.1.4. Producción nacional de fresa	8
1.2.1.5. Balanza comercial	10
1.2.1.6. Comercio internacional de fresa	11
1.2.2. Brócoli	12
1.2.2.1. Historia	12
1.2.2.2. Botánica	13
1.2.2.3. Variedades	13
1.2.2.4. Mercado nacional de brócoli.....	14
1.2.2.5. Comercio internacional de brócoli	16
1.3. El proceso de la congelación.	
1.3.1. Definición de congelación	17
1.3.2. Importancia de la congelación	17
1.3.3. Alteraciones causadas por la congelación	18
1.3.4. Velocidad de congelación.....	18
1.3.5. Definición de tiempo de congelación	19
1.3.6. Proceso de la congelación	20
1.4. Métodos de congelación.	
1.4.1. Congelación por contacto directo.....	21
1.4.2. Congelación por aire	21
1.4.3. Congelación por inmersión	21
1.5. Definición de métodos de descongelación	22
1.6. Escaldado de hortalizas	22
1.7. Métodos de medición sensoriales y físicos en alimentos	23
1.7.1. El color	24
1.7.1.1. Importancia del color en los alimentos.....	25
1.7.1.2. Medida del color	25

1.7.1.3. El color en fresas	29
1.7.1.4. El color en brócoli.....	31
1.7.2. Textura.....	34
1.7.2.1. Evaluación de la textura.....	35
1.7.2.2. Deformación relativa.....	36
1.7.2.3. Evaluación empírica de la textura	37
1.7.2.4. Penetrómetro.....	38
2. METODOLOGIA.....	
2.1. Objetivos	39
2.2. Cuadro metodológico.....	40
2.3. Hipótesis	41
2.4. Variables.....	41
2.5. Desarrollo experimental.....	41
2.6. Diseño experimental.....	43
3. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	
3.1. Validación de termopares	52
3.2. Centro térmico.....	52
3.3. Fresa.....	
3.3.1. Medición de color.....	58
3.3.2. Medición de textura.....	63
3.4. Brócoli.....	
3.4.1. Medición de color.....	67
3.4.2. Medición de textura.....	73
CONCLUSIONES.....	79
BIBLIOGRAFIA	81
ANEXOS.....	
I. Equipo de medición de color	85
II. Equipo de medición de textura	86
III. Datos de color en fresa	87
IV. Datos de color en fresa.....	89

Índice de figuras, cuadros y graficas.

FIGURAS.

1. Diversas formas de la fresa	6
2. Efecto de la congelación sobre los tejidos vegetales	18
3. a) Curva de congelación para el agua; b) Curva de congelación para alimentos	21
4. Efecto del escaldado en los tejidos vegetales.....	23
5. Núcleo flavillo.....	30
6. Piranosa y esqueleto de la portirina.....	32
7. Transformaciones de la clorofila al sustituir el magnesio	33
8. Esquema de algunos métodos para someter los alimentos a una fuerza	36
9. Compresión uniaxial normal, de cizalla y compresión de volumen de un sólido elástico	37
10. Celdillas utilizadas con los instrumentos de ensayo universales.....	38
11. Penetrómetro.....	38
12. Congelador experimental	44
13. Diagrama de congelación de la fresa y brócoli.....	45
14. Forma en que fueron colocadas las muestras para la prueba de textura.....	48
15. Zonas donde fueron colocados los termopares para el estudio del centro térmico en fresas..	53
16. Zonas donde fueron colocados los termopares para el estudio del centro térmico en brócoli.	55

CUADROS.

1. Principales variedades de fresa producidas por estado.....	7
2. Características de las variedades de la fresa.....	8
3. Exportación de fresa.....	12
4. Principales variedades de brócoli producidas por estado.....	13
5. Exportación de brócoli.....	16
6. Algunas condiciones de congelación.....	19
7. Ejemplo de las diferencias de amarillos de las manzanas <i>Golden delicious</i>	28
8. Muestra en donde se encuentran las antocianinas más comunes.....	30
9. Variables de proceso.....	41
10. Resultados obtenidos en la validación de termopares.....	52
11. Análisis estadístico del color en fresa fresca.....	58
12. Análisis estadístico del color en fresa congelada directamente	59
13. Análisis estadístico del color en fresa congelada indirectamente.....	59
14. Análisis estadístico del color en fresa descongelada directamente.....	60
15. Análisis estadístico del color en fresa descongelada indirectamente.....	60

16. Análisis estadístico de la luminosidad.....	61
17. Análisis estadístico del cromá.....	61
18. Análisis estadístico del tono.....	62
19. Análisis estadístico del color en brócoli fresco.....	67
20. Análisis estadístico del color en brócoli escaldado.....	67
21. Análisis estadístico del color en brócoli congelado directamente.....	68
22. Análisis estadístico del color en brócoli congelado indirectamente.....	68
23. Análisis estadístico del color en brócoli descongelado directamente.....	69
24. Análisis estadístico del color en brócoli descongelado indirectamente.....	69
25. Análisis estadístico de la luminosidad	70
26. Análisis estadístico del cromá	70
27. Análisis estadístico del tono	71
28. Análisis estadístico de la textur.....	77

GRAFICAS.

1. Producción nacional de fresa 1991.....	9
2. Producción nacional de fresa 1992.....	9
3. Producción nacional de fresa 1993	10
4. Evolución de la producción de fresa 1980-1994.....	11
5. Producción nacional de brócoli 1991.....	15
6. Producción nacional de brócoli 1992.....	15
7. Producción nacional de brócoli 1993.....	16
8. Sistema de coordenadas de color en el sistema Oswald	26
9. Grafica de color del sistema CIE a) con observador ; b) diagrama de cromaticidad.....	27
10. Ilustración de como el colorómetro percibe en amarillo en las muestras.....	29
11. Historia térmica de las zonas en donde fueron colocados los termopares de la figura 15a.....	53
12. Historia térmica de las zonas en donde fueron colocados los termopares de la figura 15b.....	54
13. Historia térmica de las zonas en donde fueron colocados los termopares de la figura 15c.....	54
14. Historia térmica de las zonas en donde fueron colocados los termopares de la figura 16a.....	56
15. Historia térmica de las zonas en donde fueron colocados los termopares de la figura 16b.....	56
16. Historia térmica de las zonas en donde fueron colocados los termopares de la figura 16c.....	57
17. Deformación relativa en fresas frescas.....	64
18. Deformación relativa en fresas congeladas directamente y descongeladas directamente.....	65
19. Deformación relativa en fresas congeladas directamente y descongeladas indirectamente.....	65
20. Deformación relativa en fresas congeladas indirectamente y descongeladas directamente....	66
21. Deformación relativa en brócoli fresco	73
22. Deformación relativa en brócoli escaldado	74
23. Deformación relativa en brócoli congelado directamente y descongeladas directamente.....	75
24. Deformación relativa en brócoli congelado directamente y descongeladas directamente.....	75
25. Deformación relativa en brócoli congelado indirectamente y descongeladas directamente	76
26. Deformación relativa en brócoli congelado indirectamente y descongeladas indirectamente..	76



"No estudio para saber más que los demás, sino para ser menos ignorante".



Resumen.

Este trabajo comprende la evaluación del daño físico que sufre una fruta [fresa] y una hortaliza [brócoli], al ser sometidos a un proceso de congelación y descongelación directa e indirecta. Eligiéndose como medidas de control el color y la textura. Estos productos fueron seleccionados debido a su gran comercialización y consumo.

La evaluación de las propiedades físicas se realizó en el producto fresco, escaldado [para el brócoli], congelado y descongelado. En el producto congelado no se le realizó la prueba de textura, debido a la extrema dureza del producto congelado.

La congelación se realizó en un congelador experimental, utilizando como medio de enfriamiento CO₂ gaseoso, las pruebas se realizaron en: a) congelación directa [el producto en contacto directo con el medio], y b) en contacto indirecto [el producto se cubrió con un empaque de polietileno].

En la descongelación, el producto se sumergió en agua a temperatura controlada en forma directa [en contacto directo con el medio] y en forma indirecta [con un empaque de polietileno].

Las medidas de color se evaluaron en la epidermis de las fresas y en el florete del brócoli, por lo que se considera como prueba no destructiva o prueba con reposición, la prueba se realizó con un colorímetro *Minolta*, utilizando la escala CIE L*a*b*, para el estudio se obtuvieron los parámetros de croma, tono y luminosidad. Por otra parte la prueba de textura se realizó en un penetrómetro empírico, comprimiendo la epidermis a la fresa y el tallo al brócoli, obteniéndose datos para el análisis de la textura, considerándose como prueba destructiva o prueba sin reposición.

En la fresa se observó que el color y la textura son afectados más en la congelación y descongelación indirecta, mientras que, para el brócoli el color se ve más afectado en la descongelación indirecta y la textura sufre un daño más severo por la congelación directa.

Introducción.

La conservación de frutas y hortalizas por congelación es uno de los métodos más importantes para mantener la calidad en los productos agrícolas, conservando sus características naturales, como color, textura, sabor, olor, etcétera, esto con el fin de ser mantenidas por largos períodos de almacenamiento después de la cosecha (Mallett, 1993), los estudios muestran que una congelación rápida disminuye notablemente los daños a nivel celular.

En México existen una gran diversidad de productos hortícolas que se congelan para ser comercializados, entre estos sobresalen la fresa [fruta] y el brócoli [hortaliza], el primero se consume en grandes cantidades a nivel nacional e internacional, mientras que el consumo del segundo a nivel nacional es pobre y a nivel internacional se consume en grandes cantidades, por lo que los dos representan un factor importante para la obtención de divisas.

Como en el proceso de congelación, en la descongelación también pueden ocurrir daños a nivel celular, los cuales deterioran la calidad del producto. Se han realizado estudios al respecto para obtener el menor daño posible, sin embargo, algunas frutas y hortalizas no se pueden conservar congelados satisfactoriamente, por lo que se comercializan y consumen en fresco, por ejemplo los productos para ensalada, tales como lechuga y tomates, tienen una vida de anaquel corta (Mallett, 1993).

Como ya se mencionó la congelación ayuda a la conservación de las frutas y hortalizas, y se ha observado que mezclando gases con el proceso del frío se pueden tener mejores resultados, entre estos gases se encuentran el oxígeno [O₂], anhídrido carbónico [CO₂], etileno y nitrógeno [N₂] (Yahin *et al.*, 1992).

La alteración de un producto vegetal congelado puede inhibirse realizándole tratamientos tales como el escaldado para la mayoría de las verduras y el azucarado para algunas frutas, no obstante, en algunas ocasiones estos tratamientos seguidos por una congelación, contribuyen a modificar la textura de los vegetales.

En las frutas y hortalizas el color externo, la textura o firmeza, el aroma y el sabor son determinantes para una aceptación por parte del consumidor, entre los factores que

determinan estas características se encuentran la madurez, fenotipo, métodos de cosecha, factores del medio ambiente, manipulación y proceso, entre otros (Sistrunk y Morros, 1967 y 1971).

En este estudio se consideró al color y la textura como índices cuantitativos de la calidad, en el proceso congelación-descongelación de la fresa y el brócoli.

Existen varias técnicas para medir color, en un principio se realizaron con métodos destructivos, donde el pigmento era extraído y analizado con técnicas de fluorescencia, en la actualidad se puede realizar con métodos no-destructivos, la medición se realiza en forma directa utilizando para ello un colorímetro. Las técnicas utilizadas para medir la textura son destructivas, los aparatos para medir tal característica son penetrómetros y consistómetros, aunque algunos autores mencionan que estas pruebas se pueden sustituir por unas no-destructivas (Yang y Draff, 1978),

Capítulo 1

Generalidades.

1. 1. Desarrollo de la industria de la congelación de alimentos.

La congelación y el almacenamiento por frío se encuentran entre los métodos más antiguos conocidos para la conservación de alimentos, en un principio únicamente en los climas frígidos los alimentos se congelaban en forma natural, éstos se descongelaban y se consumían por el hombre prehistórico (Potter, 1973).

El desarrollo de la industria de la congelación de alimentos está estrechamente ligada a los cambios en la tecnología de la refrigeración. Los primeros sistemas para congelar alimentos fueron los sistemas hielo-sal, pero a mediados de 1800, se inicia el avance tecnológico, ya que se registraron las primeras patentes para la congelación de pescado, que fueron concedidas, la primera en 1842 a H. Benjamin y en 1861 a Enoch Piper en Maine, mientras que la invención de la refrigeración mecánica a base de amoníaco se dió hasta 1875, este avance suministró la base para la subsecuente explotación comercial del proceso en gran escala (Desrosier, 1982). El uso de la congelación mecánica fue obstaculizado por la carencia de instalaciones de almacenamiento refrigerado, necesarias para la conservación de los alimentos; sin embargo, no fue hasta principios del presente siglo cuando se desarrollaron el mayor número de bodegas refrigeradas, pero casi no existían refrigeradores, y menos aún congeladores en las tiendas y hogares (Potter, 1973). A los primitivos procesos de congelación se les conoció como "congelación profunda", la cual consistía en colocar los productos en almacenes fríos, que usualmente contaban con circulación natural de aire. De esta forma se congelaba la carne, el pescado, los pollos, los huevos y la fruta destinada a la elaboración de mermeladas (Brennan, *et al.*, 1980).

No fue sino hasta la década de 1920-30 que los alimentos se entregaron en estado congelado a los mercados, generalmente se descongelaban antes de llegar al hogar, o bien se descongelaban en las neveras domésticas y su calidad fluctuaba entre mediocre y mala (Potter, 1973). En esta misma década un ingeniero llamado Clarence Birdseye inició una revolución tecnológica, a la cual se le conoce como tecnología de la congelación, ya que

desarrolló procesos y equipo para la congelación rápida de alimentos, además promovió exitosamente el consumo de unidades de alimentos congelados. (Potter, 1973; Desrosier, 1982). Este investigador determinó que la velocidad de congelación afectaba directamente la calidad del producto una vez descongelado, además introdujo el concepto de la "congelación rápida" (Frías, Brito y Hardison, 1990).

La congelación comercial de frutas se inició en Norteamérica en 1904, pero la congelación de hortalizas no se empleó con éxito sino hasta 1930, después de los trabajos de Birdseye, entre otros (Brennan *et al.*, 1980). La razón principal de la demora se debió a que las hortalizas desarrollaban sabores a heno posterior a la congelación y en el almacenamiento, a la vez que tenía lugar una alteración del color. Un tratamiento con agua caliente, conocido como escaldado, fue la solución a este inconveniente (Holdsworth, 1988).

1. 2. Antecedentes de la materia prima.

1. 2. 1. Fresa.

Es la infructescencia de receptáculo carnoso, ovado de color rosa o rojo, succulento y fragante de la planta perteneciente a la familia de las Rosáceas, género y especie *Fragaria vesca* [fresa pequeña], *Fragaria chilensis* [fresa grande o fresón] (Badui, 1988; SECOFI, 1987). El nombre de fresa se deriva del latín *fraga*, la cual tiene un influjo del francés framboise [frambuesa]. Con este nombre también se le conoce vulgarmente a varias especies del género *Fragaria*: *F. collina* y *F. eliatos*.

1. 2. 1. 1. Historia.

La fresa se cultiva desde tiempos de los romanos y posiblemente desde los griegos (Darrow, 1966), en ese entonces la fruta no se consideraba como un cultivo importante, sin embargo es muy difícil saber sobre este rubro, ya que no se encontró información registrada. Las fresas silvestres se han podido desarrollar por todas partes del mundo, en diferentes climas y condiciones. Aproximadamente por el año 1300 se practicó el cultivo de fresas en Europa. En Francia se sembraron como plantas de ornato en los jardines (Sistrunk y Morris, 1985).

A principio de 1700 un progreso significativo se realizó, estableciendo la fundación de nuevos cultivos. Las fresas silvestres *Fragaria chilensis* fue llevada de Francia a Chile y se cruzó con la fresa silvestre Americana *Fragaria virginiana* (Darrow, 1966). Antonie Nicolas Duchesne, fue el primero en identificar las primeras variedades de esta cruce como *Fragaria ananassa*. Este y otros cultivos híbridos de la misma familia se extendieron por todas partes del mundo desde principios de 1800 hasta 1900. Esto se ha debido a la buena

aceptación de las diferentes variedades de fresa desde mediados de 1800. En la actualidad se encuentra entre las frutas más conocidas y consumidas en todo el mundo.

1. 2. 1. 2. Botánica.

Las plantas son rosáceas, con tallos rastreros, nudosos y con espolones; sus hojas son pecioladas, vellosas y blancas por el envés, divididas en tres segmentos aonados, y con dientes gruesos en el margen, sus flores son pedunculares blancas o amarillentas, solitarias o en corámbos poco nutridos, el fruto puede ser casi redondo o algo punteado. En la actualidad existen una gran cantidad de variedades comerciales, se denominan así a aquellas variedades cuyas cualidades han sido ya demostradas y que reúnen los requisitos de mercadeo y de procesamiento imprescindibles para dichos fines, las variedades pueden ser de forma ovoidea, globular, cónica, cónica globular, cónica longitudinal de cuña larga o corta, estas formas se muestran en la figura 1.

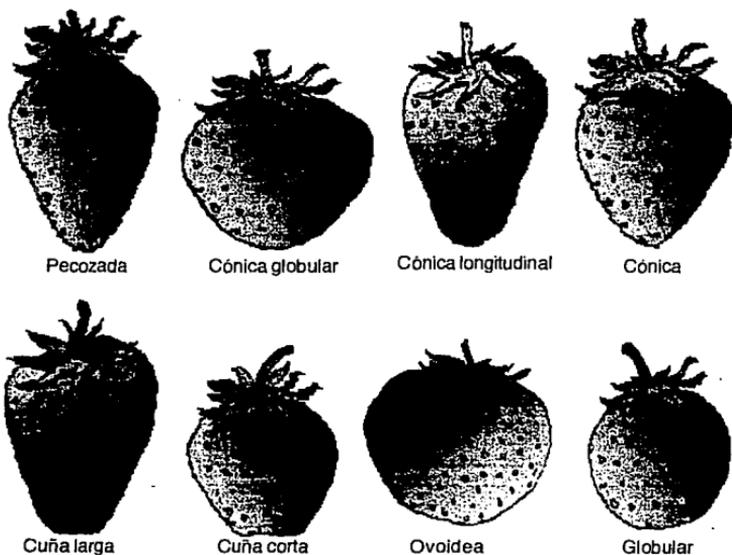


Figura 1. Diversas formas de la fresa. Scott et al., 1974. (52)

1. 2. 1. 3. Variedades cultivadas en México.

En los dos principales estados productores de fresa en México, prevalecen las variedades que se muestran en el cuadro 1. Las características principales de las variedades de fresa se mencionan a continuación (Scoott *et al.*, 1974; SARH, 1986).

a) Tioga.

Las plantas de esta variedad son vigorosas, proporcionando con ello una fruta grande en forma cónico-longitudinal, de color rojo vivo muy brillante, superior en tamaño al de la fresa, su sabor y aroma son de buena calidad, presentan una forma cónica y alargada con tendencia a formar una cuña. Por otra parte, el fruto es de los más firmes, con una gran tolerancia a la manipulación, almacenaje y transporte, aunque es sensible a la mancha cercóspora. También soporta cierto grado de salinidad en los suelos y no es muy exigente en cuanto a fertilización. Recomendable para plantíos de verano e invierno.

b) Solana.

Se adapta a suelos salinos, tiene gran fertilidad, sus frutos son muy grandes puede alcanzar de 40 a 45 gramos de peso, es de forma irregular y de color rojo brillante, su carne es rosada, compacta, perfumada y resistente al transporte.

c) Fresno.

Se caracteriza por ser de fruto grande, de carne compacta y sabor acidulado fragante, las bayas son cónico-longitudinales, suficientemente firme y de muy buen sabor, su corteza es de un rojo encendido lo que las hace atractivas. Tolerancia a la salinidad, cuando ésta no se presenta en exceso, es muy susceptible al marchitamiento letal, pero es resistente al ataque de virus, además el tallo del fruto es muy frágil. Se cosecha moderadamente después de la primavera y en forma más abundante y productiva a mitad de verano.

d) Aliso.

Es una nueva variedad, planta vigorosa con fruto de color rojo oscuro, menos grande que la que produce la variedad Tioga, su forma es semicónica de buen sabor además de ser muy productiva.

Estado	Región	Variedad
Guanajuato	Irapuato	Tioga Fresno Aliso Solana
Michoacán	Zamora	Tioga Fresno

Cuadro 1. Principales variedades de fresa producidas por Estado. SARH, 1986 (40).

Como se observa en el cuadro 1, Irapuato en la región de Guanajuato es el principal productor de variedades de fresa, seguido por Zamora, en el estado de Michoacán.

Una mayor información de las cualidades de las variedades de la fruta se puede observar en el cuadro 2, donde se muestran tanto características del fruto como resistencia a las enfermedades.

		Aliso	Fresno	Solana	Tioga
Resistencia de las plantas a las enfermedades	Mancha cercóspora	desconocida	regular	desconocida	susceptible
	Marchitez de la hoja	desconocida	desconocida	desconocida	desconocida
	Estela roja	susceptible	susceptible	susceptible	susceptible
	Marchitez del verticilo	susceptible	susceptible	resistente	susceptible
	Tolerancia a virus	desconocida	regular	tolerante	tolerante
Características del fruto	Tamaño	grande	muy grande	grande	muy grande
	Firmeza de la pulpa	mediana	firme	mediana	firme
	Firmeza de la corteza	mediana	firme	mediana	firme
	Calidad para proceso por congelación	buena	regular	buena	buena

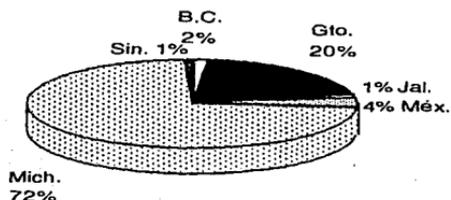
Cuadro 2. Características de las variedades de la fresa. Scott et al., 1974 (52).

1. 2. 1. 4. Producción nacional de fresa.

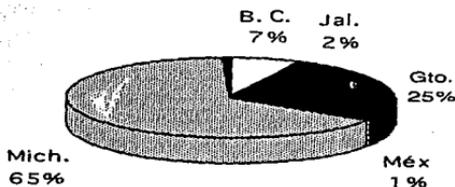
La producción de fresa se vió restringida a partir de 1979 cuando se reguló la extensión de siembra por medio de permisos que controlaba la Unión Nacional Productores de Hortalizas (UNPH). Esta medida pretendía evitar la sobreproducción y mantener precios altos, pero ocurrió una caída de las exportaciones debido a que los precios aumentaron, haciendo que la producción de California fuera competitiva y desplazara a la fresa mexicana en los Estados Unidos. Posteriormente, en 1987 se eliminó la necesidad de permisos de siembra y esto permitió un fuerte incremento en la producción. Las caídas de precios que se esperaban no se dieron debido a las heladas y a un crecimiento en la demanda interna, que provocó precios domésticos de fruta fresca más atractivos que los de exportación. En la actualidad la producción mexicana representa el 30% de la producción norteamericana (SARH-BANCOMEXT, 1990).

La producción mexicana de fresa se concentra en la región de Zamora, Michoacán, como consecuencia de un desplazamiento durante los setenta, cuando la mayor producción se

centraba en la zona de Irapuato, Guanajuato. Michoacán produce la mayor cantidad de fresa mexicana, le sigue en importancia Guanajuato con el 20%, aunque en 1993 su producción aumentó hasta un 30 %, mientras que Baja California después de producir un 20% al final de la década pasada, para 1991 fue de 2 %, para el 92 de 7% y para el 93 se recuperó produciendo 17%. En las gráficas 1, 2, y 3, se muestran los estados de mayor producción y el porcentaje de la misma en los tres años anteriores.



Gráfica 1. Producción Nacional de Fresa en 1991. SARH, (36, 40).

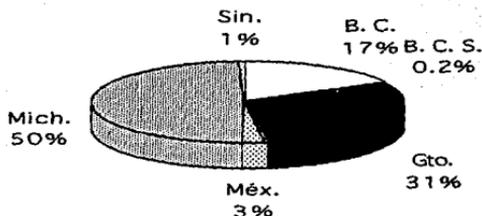


Gráfica 2. Producción Nacional de Fresa en 1992. SARH, (36, 40).

La temporada de producción de fresa en México se inicia a mediados de octubre terminando a finales de junio, con producciones máximas en los meses de marzo y abril. En la zona de Irapuato se logran producciones durante casi todo el año, a diferencia de Zamora, Michoacán, en donde su producción termina a finales de junio cuando empieza la temporada de lluvias.

El cultivo de la fresa en México presenta varios problemas, entre éstos podemos destacar que el cultivo se encuentra poco tecnificado en comparación con los Estados Unidos, ya que el

productor norteamericano utiliza tecnología avanzada (SARH-BANCOMEXT, 1990).



Gráfica 3 Producción Nacional de Fresa en 1993. SARH (36, 40).

Otro problema al que se enfrentan los productores es la poca disponibilidad de plántulas nacionales de buena calidad, de manera que toda la plántula que se utiliza para el cultivo de fresa en México es importada. Los productores nacionales la adquieren en viveros de California con un costo aproximado de 3 centavos de dólar por plántula (SARH-BANCOMEXT, 1990). Esto provoca que los productores con pocos recursos utilicen varias veces plántulas hijas de cultivos viejos, provocando así disminuciones en su producción y frutos de mala calidad. Otro problema que enfrentan tanto productores como congeladores, es el uso de pesticidas prohibidos por la FDA, lo que ha ocasionado detenciones en la frontera de embarque procedentes de México (SARH-BANCOMEXT, 1990).

Entrevistas con los productores indican una controversia en cuanto a la calidad del producto cosechado en México. Productores de Irapuato aseguran que la calidad del producto nacional es pobre, mientras que, los productores de Zamora afirman tener una excelente calidad. Sin embargo, a pesar de lo dudoso de la calidad, la mayor parte de la fresa producida en México es aceptada en el mercado norteamericano (SARH-BANCOMEXT, 1990).

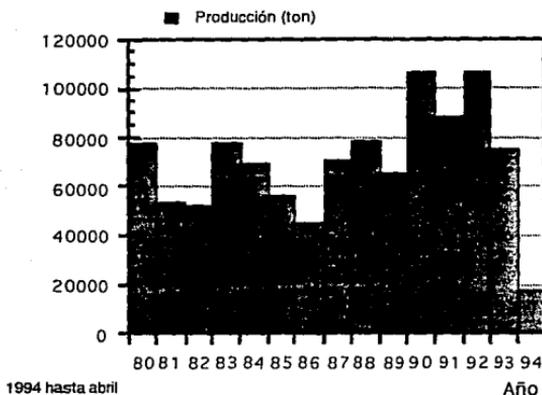
La comercialización de la fresa en el mercado nacional es fundamentalmente fresca, en tanto que la fresa congelada ocupa un pequeño porcentaje y su comercialización es básicamente al sector industrial, para elaborar rellenos de pasteles, mermeladas, helados, etcétera (SARH-BANCOMEXT, 1990).

1. 2. 1. 5. Balanza comercial.

La balanza comercial favorece a México en ambas presentaciones, siendo la congelada la que se encuentra fuertemente orientada a la exportación. Sin embargo, a partir de 1987 se

ha incrementado notoriamente la exportación de fresas frescas debido a la liberación del permiso de cultivo (SARH-BANCOMEXT, 1990).

Las cifras anteriores muestran la importancia del estado de Michoacán, en la producción de fresas del país, siendo a la vez el principal exportador de este producto a Estados Unidos y Japón (SARH-BANCOMEXT, 1990).



Gráfica 4. Evolución de la producción de fresa 1980-1994. SARH (35, 36, 40).

En la gráfica 4, se muestra el gran incremento que se llegó a tener en la producción de fresa de 1990 a 1992, para abril de 1994 se observa una buena producción de fresa, el estado que sobresale en la producción es Guanajuato.

1. 2. 1. 6. Comercio Internacional de fresa.

La fresa se comercializa como producto fresco o congelado. Los intercambios se realizan principalmente a nivel nacional; es decir, como comercio entre países de Norteamérica (Estados Unidos, Canadá y México), y entre los países europeos. La principal excepción a esta regla es Polonia quien constituye el segundo proveedor de fresas de los Estados Unidos.

España e Italia son los proveedores de Europa; México y Polonia abastecen a los Estados Unidos quien a su vez exportan a Canadá, Japón y países del Lejano Oriente, Nueva Zelanda, Chile e Israel son países con producciones pequeñas que exportan a Europa Norteamérica y Japón (SARH-BANCOMEXT, 1990).

El siguiente cuadro muestra que la mayor cantidad de fresa exportada es en estado fresco, aunque en 1989 se incrementó la exportación de la fresa congelada, por desgracia no se contó con información de los últimos años de la producción de fresa congelada, pero como se observa en 1993 aumentó la exportación de fresa fresca, aunque no se ha podido exportar las grandes cantidades que se exportaban en 87 y 88, esto debido a la gran producción que ha tenido en los últimos años Estados Unidos.

Año	Congelada	Fresca
1987	41 116 967	total
1988	1 636 867	17 431 012
1989	8 396 597	5 486 012
1990	3 625 391	6 175 282
1993		8 596 000

Cuadro 3. Exportación de fresa (Ton). SARH (35, 36,40).

1. 2. 2. Brócoli.

El nombre de brócoli se deriva del latín *broccus* [dentón] convertido al italiano *broccoli* [col con retoños]. El brócoli o brecol *Bassica oleracea* L., es un miembro de la familia Crucífera [ostaza], orden readales, variedad de coliflor. Un sinónimo es la *B. oleracea* L. variedad *butrytis* L., se dice que es una hortaliza híbrida cercanamente relacionada a la coliflor (Nonnecke, 1989). El brócoli pertenece a la familia de las coles y coliflores.

Una característica importante es que tiene una respiración alta, por lo que debe ser refrigerado rápidamente después de la cosecha, para evitar un deterioro rápido (DCDA, SARH, 1986).

1. 2. 2. 1. Historia.

Desde tiempo de los romanos el brócoli y la coliflor se clasificaban como de la misma especie, los italianos desde entonces consideran al brócoli como un alimento vegetal, mientras que otros Europeos realmente no aceptaron esta variedad, en particular de la *B. oleracea*, para los Americanos es más popular el consumo de esta hortaliza. En el siglo VI los ingleses se refieren a los retoños de coliflor o espárragos de Italia. El brócoli es introducido a América aproximadamente por el año 1806, cuando se le dió el nombre de brócoli verde (Nonnecke, 1989).

1. 2. 2. 2. Botánica.

Tiene básicamente hojas raíz y flores, cuya característica principal es tener una "cabeza" terminal carnosa y ramificada, la "cabeza" es un ramo compacto de botones de aproximadamente 15.5 cm. de diámetro al madurar. La mayor parte de las variedades del brócoli son de lento crecimiento. Algunos tipos de brócoli son anuales, aunque hay algunos que son bienales, estos últimos no son de importancia comercial (Nonnecke, 1989).

1. 2. 2. 3. Variedades.

Dentro de la familia a la que pertenece el brócoli se han clasificado ocho variedades las cuales se diferencian en su morfología [tallo, ramificaciones y florete]. Entre las variedades más importantes cultivadas en nuestro país se encuentran la Waltham #29, Green Duke y de Cicco, las cuales son de calidad para el mercado externo, se puede decir que la totalidad de la producción está destinada a la exportación (SARH, 1986). El consumo nacional aparentemente es poco significativo, puesto que en 1985 éste ascendió a 41 toneladas.

En los principales estados productores de brócoli prevalecen las variedades que se muestran en el cuadro 4.

Estado	Región	Variedad
Aguascalientes	Pabellón	Waltham # 29
B. C.	Valle de Sto. Domingo	Waltham # 29
Coahuila	Zaragoza	Waltham # 29 Green Duke
Sinaloa	Valle del Fuerte	Waltham # 29 De Cicco
Sonora	Valle de Mayo	Waltham # 29
Guanajuato	El Bajío	Waltham # 29 Fin Cleopatra Premium Crop

Cuadro 4. Principales variedades de brócoli producidos por estado. SARH 1986 (39).

Las características principales de las variedades de brócoli se mencionan a continuación (DGDA, SARH, 1986).

a) De Cicco.

Sus características principales son las cabezas medianamente grandes, es de color pálido, de grano muy compacto y algo achatadas, es de clase precoz, el tiempo que requiere para su

madurez son 60 días cuando su siembra es en primavera y de 130 en otoño; la altura media de la planta es de 60 a 90 cm.

b) Green Duke.

Tiene cabezas grandes, compactas y de color verde oscuro, es de clase precoz por lo que el tiempo requerido para su maduración es de 60 días en primavera y 130 en otoño.

c) Waltham #29.

En el país, la superficie destinada al brócoli se refiere principalmente a esta variedad, y dentro de sus características se encuentran su color verde azulado, compacta, inflorescencia pequeña, cabezas de tamaño intermedio y bien redondeadas, es de maduración concentrada y de alta productividad, los días requeridos para su maduración es de 110 días, es la de mayor producción en el país.

1. 2. 2. 4. Mercado nacional de brócoli.

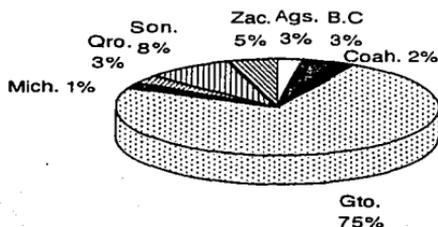
Las siembras iniciales de brócoli se realizaron en 1969 en regiones cercanas a Celaya, la empresa que inició la siembra fue Bird's Eye. La primera variedad sembrada se llamaba Regular 14. Posteriormente adoptaron la primera variedad híbrida más conocida, que fue la Green Duke de Sakata. Durante muchos años usaron el fenotipo por que les permitía obtener la "lanza o spire"; que es un peciolo con su florente que en total da entre 4 y 1/5 a 5 pulgadas de longitud. Por muchos años se estuvo utilizando esa variedad; posteriormente, para la época de más calor en el Bajío se empezó a utilizar la variedad Yem de Asgrow, más adelante encontraron que la Green Valiant podía sustituir a la Yem, de esta forma se fue eliminando la Yem. En la actualidad se encuentran otras variedades híbridas que sustituyeron a las primeras, pero fue hasta 1984 cuando se entró de lleno a la producción de este cultivo (González, 1990).

A diferencia de la fresa este cultivo se tecnifica en cada nuevo ciclo agrícola. La propagación del brócoli ya no es solamente por siembra directa, sino por transplante. Generadas y protegidas en invernaderos, germinan las plántulas y se llevan al campo cuando tienen de 25 a 30 días de vida (González, 1990).

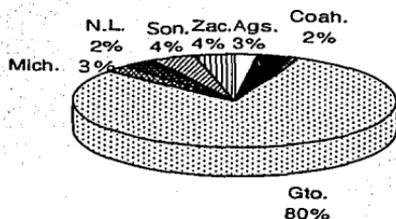
Desde el principio la producción del brócoli se destinó a la exportación, además de la Bird's Eye se instaló Gigante Verde en Irapuato, estas dos empresas siembran el brócoli y lo congelan, pero además de su producción compran más brócoli a otras agroindustrias. Esto ha provocado que los productores de brócoli en la zona del Bajío estén mejor preparados en la producción de brócoli que los productores de Sinaloa (González, 1990). La alta productividad del Bajío, en el estado de Guanajuato, se debe principalmente a que han podido levantar tres cosechas en cada ciclo agrícola, por lo que la producción es la más importante del país,

llegando a producir en 1991 el 75% de la producción total, mientras que para el 92 su producción aumentó a 80% y en el 93 su producción disminuyó a un 75%, esto se puede observar en las gráficas 5, 6, y 7.

Es de particular relevancia, por la importancia que reviste este estado en la producción del brócoli, ya que la superficie dedicada a su cultivo tan sólo representa el 0.07% del total de la superficie sembrada en el estado (SARH, 1986), el segundo estado productor de brócoli



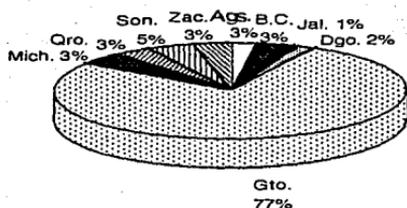
Gráfica 5. Producción Nacional de brócoli en 1991. SARH (36,39).



Gráfica 6. Producción Nacional de brócoli en 1992. SARH (36,39).

es Sonora, pero su producción es muy inferior si la comparamos con la producción del Bajío, ya que no rebasa el 10%.

En los ochenta Aguascalientes llegó a ser un importante productor de brócoli, pero en la presente década su producción ha ido en descenso perdiendo así participación dentro del total nacional. La disminución se debe a la reducción de la superficie cosechada, la cual disminuyó en un 43% (SARH, 1986).



Gráfica 7. Producción Nacional de brócoli en 1993. SARH (36,35,39).

Para el consumo per cápita del brócoli congelado en México, los incrementos son menores, aunque sí existe un aumento en su consumo en fresco.

1. 2. 2. 5. Comercio Internacional de brócoli.

El incremento en el consumo per cápita de brócoli en Estados Unidos en la última década ha permitido la inclusión de México en dicho mercado. Así tenemos que en fresco el consumo per cápita se incrementó de 300 gramos en 1966-68 a 3.5 kilogramos en 1986-88 (UACH, 1991).

Año	Congelado	Fresco
1987	37 959 623	total
1988	10 346 344	16 323 780
1989	18 580 722	11 761 475
1990	10 327 867	7 198 396

Cuadro 5. Exportación de brócoli (Ton). SARH (36, 39).

México presenta ventajas en la producción de brócoli congelado por el gran número de mano de obra requerida en el proceso de acondicionamiento y reducido costo de ésta en comparación con los costos de los Estados Unidos, con una diferencia de diez veces menor que en México. La exportación de brócoli ha aumentado considerablemente, en 1987 se reportan los datos del producto fresco y congelado, en los siguientes años se reportan los del brócoli congelado y fresco, en un principio la exportación en fresco es muy alta, sin embargo en los siguientes años la mayor cantidad exportado es congelado (UACH, 1991).

1. 3. El proceso de la congelación.

1. 3. 1. Definición de congelación.

La congelación como tal, se define como un proceso de reducción de la temperatura de un producto (Badui, 1988). Se dice que un alimento está congelado cuando su temperatura interna es de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ o aún más baja. Para frutas y hortalizas las temperaturas de congelación recomendadas fluctúan de -16 a $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Potter 1973; Woodroof, 1982).

1. 3. 2. Importancia de la congelación.

La congelación como método de conservación de alimentos ha alcanzado un sólido arraigo en muchos países, esto es debido a las grandes ventajas que ofrece en relación a la calidad de los productos que se conservan de esta manera.

La congelación se ha calificado como el avance más importante en las técnicas de conservación de alimentos (Lafuente, 1985). Una congelación adecuada permite retener las características de la fruta fresca en cuanto a sabor, color, aroma, valor nutritivo y es moderadamente efectiva en la retención de las propiedades texturales (Fennemà, 1975).

Entre las razones por las cuales se congelan los alimentos podemos mencionar las siguientes:

- Preservar la calidad inicial y la integridad de un producto con vistas a su posterior consumo.
- Crear una textura y consistencia particulares del alimento, de tal forma que sea apetecible para el consumidor; por ejemplo: helados, sorbetes y yogur congelado.
- Efectuar ciertos procesos tales como la liofilización, concentración de zumos de frutas por separación de cristales de hielo, preparación de frutas para la extracción de zumos, desacidificación del vino por formación y separación de cristales de ácido tartárico, y enfriamiento antes de la aplicación de radiaciones ionizantes para reducir los efectos no deseables. (Ins. Int. Frío, 1990).

La forma de preservar la calidad se debe a que en la aplicación de bajas temperaturas el crecimiento de los microorganismos se detiene, además son inhibidas todas las reacciones químicas, enzimáticas o no, dependientes de ellas, excepto la oxidación de los lípidos, que aumenta a temperaturas próximas a la congelación. También en estos casos, la actividad bioquímica de los microorganismos se realiza más lentamente, bloqueando los procesos de multiplicación, aunque los microorganismos continúan produciendo enzimas, que actúan menos intensamente cuando la cifra de gérmenes vivos es pequeña. Igualmente en estas condiciones aumenta la fase latente y el tiempo de generación (Frias *et al.*, 1990).

1. 3. 3. Alteraciones causadas por la congelación.

El principal efecto de la congelación sobre la calidad de los alimentos es el daño intracelular de paredes y membranas que ocasiona el crecimiento de los cristales de hielo durante la congelación. Como la estructura celular de las frutas y verduras es muy rígida, la formación de los cristales de hielo puede afectar con más facilidad. La intensidad de estos efectos depende del tamaño de los cristales, por tanto de la velocidad de transferencia de calor. Cuando el agua que se encuentra dentro de las células se congela rápidamente, se forman cristales de hielo diminutos; cuando se congela más lentamente, forma grandes cristales de hielo y racimos de cristales. Los grandes cristales de hielo que se forman dentro de o entre las células pueden causar la ruptura física y la separación de células en grado mucho mayor de cristales de hielo más pequeños (Potter, 1973; Fellows, 1994), este efecto se ilustra en la figura 2. Los grandes cristales de hielo no sólo son perjudiciales a los alimentos celulares, sino que también pueden romper emulsiones congeladas como la mantequilla, espumas congeladas como el helado, y geles congelados como los postres y rellenos para pasteles (Potter, 1973).

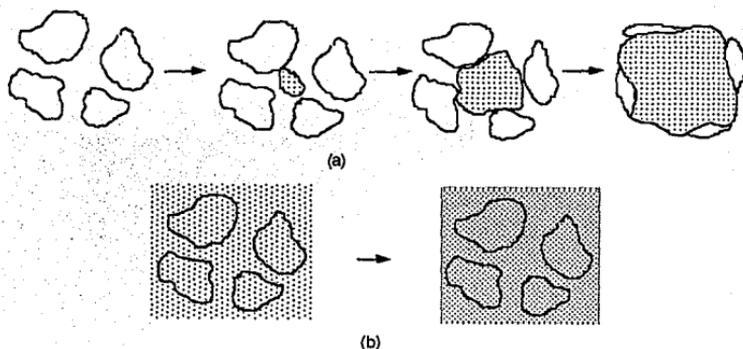


Figura 2. Efecto de la congelación sobre los tejidos vegetales: (a) congelación lenta; (b) congelación rápida. Fellow, 1994 (15).

1. 3. 4. Velocidad de congelación.

El término es a veces expresado como el descenso de la temperatura por unidad de tiempo. Sin embargo, esta definición no es la apropiada debido a que se puede confundir con velocidad de enfriamiento. Por lo tanto es mejor referirse a la velocidad de congelación como la

velocidad de desplazamiento del frente de congelación, o al tiempo necesario para transpasar un intervalo de temperatura determinado. Para esclarecer este punto se puede tomar la siguiente relación como medida de la velocidad de congelación:

$$\frac{\text{distancia mínima entre la superficie y el punto crítico}}{\text{tiempo que transcurre desde el momento que la temperatura es } 0^{\circ}\text{C en el centro crítico y cuando la temperatura alcanza } -5^{\circ}\text{C, en ese mismo punto.}}$$

Es decir, es el punto que se enfría más lentamente, la velocidad de congelación depende principalmente de la diferencia de temperatura entre el punto a congelar y el medio refrigerante. El cuadro 6, muestra algunos ejemplos de la velocidad de congelación y en donde se aplica en la práctica.

Se puede decir que cuanto más rápida sea la congelación, mejor será la calidad del producto. Las velocidades de congelación que equivalen a 1.25 cm por hora aproximadamente son satisfactorias para la mayoría de los productos y son fáciles de lograr con los equipos comerciales (Potter, 1973).

Velocidad de congelación	Velocidad de descenso de la temperatura del producto	Instalaciones
Lenta	$\leq 2^{\circ}\text{C/min}$	Congelador doméstico (aire inmóvil a -18°C)
Rápida	10 a 100°C/min	Túneles de aire frío (por ej., aire a -40°C circulando a 20 km/h)
Ultrarápida	1000 a $10\,000^{\circ}\text{C/min}$	Líquidos criogénicos.

Cuadro 6. Algunas condiciones de congelación. Cheffel et al., 1983 (11).

1. 3. 5. Definición de tiempo de congelación.

Es el tiempo transcurrido desde el principio de la fase de propagación hasta la obtención de la temperatura final. Esta duración depende, por una parte, de las temperaturas inicial y final, además de la cantidad de calor que se va a extraer, y por otra, de las dimensiones [se considera el espesor] y de la forma del producto, así como los parámetros de transmisión térmica (Inst. Int. del Frío, 1990).

La definición presenta algunas dificultades, por lo que hay que determinar dos instantes; primero, el momento que se inicia la congelación y segundo el momento en que termina. Por desgracia no es posible controlar el proceso de congelación en el producto, por lo que la

congelación se puede producir a distintas velocidades en diferentes partes de una pieza o paquete de alimento. La congelación será más rápida en la superficie de la pieza mientras que existirá otro punto que se enfríe lentamente. A este punto se le conoce como centro térmico, y es el que se utiliza para obtener la historia térmica durante la congelación, (Brennan *et al.*, 1980). El centro térmico de un producto, un empaque o una pieza, es un punto donde la temperatura es la más elevada al final del proceso de congelación, dicho de otra manera es el punto donde más tarda en eliminarse el calor del producto (Frias *et al.*, 1990; Inst. Int. del Frio, 1990).

1. 3. 6. Proceso de la congelación.

La congelación de los alimentos ha sido uno de los principales factores en colocar alimentos cómodos al alcance del ama de casa, el restaurante y todo tipo de establecimiento donde se expenden alimentos (Potter, 1973), ya que permite su prolongada conservación, ésta se efectúa a una temperatura inferior a la de su punto crioscópico, es decir, a una temperatura tal que toda el agua libre que contiene el producto se congele.

El agua libre transformada en hielo se debe mantener así durante todo el almacenamiento, para que de esta forma se puedan reducir lo más posible las modificaciones físicas, químicas y microbiológicas que, en caso contrario, deteriorarían al producto (Ins. Int. Frio, 1990).

El punto de congelación de una solución y de un alimento es más bajo que el del agua pura, esto se debe a que la presencia de solutos disueltos en los alimentos tiende a disminuir el punto de congelación, el factor limitante lo constituye la transferencia de masa, porque la elevada viscosidad del medio retarda el desplazamiento de las moléculas del agua. (Desrosier, 1982; Cheftel *et al.*, 1983; Ins. Int. Frio, 1990). En las figura 3a se encuentra representada la congelación del agua AB y de una solución diluida A'B', el punto S representa la sobrefusión, en donde ocurre la formación de cristales de hielo y liberación de calor.

Se le conoce como punto de congelación cuando la temperatura de un líquido está en equilibrio con un sólido. Una solución con una presión de vapor menor que la del solvente puro no estará en equilibrio con el solvente sólido en su punto de congelación normal (Desrosier, 1982). El sistema debe ser enfriado a una temperatura a la cual la solución y el solvente sólido tengan la misma presión de vapor, seguido por un incremento en la temperatura hasta que se forma el primer cristal de hielo y se vence el calor latente. Esto se representa por un período de parada térmica, FG, cuando la mayor parte del agua se convierte en hielo, en el punto F y J, se realiza el cambio de fase del agua, esto produce la curvatura. El alimento presenta entonces un descenso más rápido de la temperatura, GH, que

se aproximará a la temperatura del medio de enfriamiento. En la figura 3b se muestra la congelación lenta DH, por lo que el tiempo de congelación es mayor, mientras que en la congelación rápida IK, el tiempo de congelación se ve disminuido. Muchos alimentos comienzan a congelarse a temperaturas entre -1 y -3.8 °C (Desrosier, 1982; Lewis, 1993)

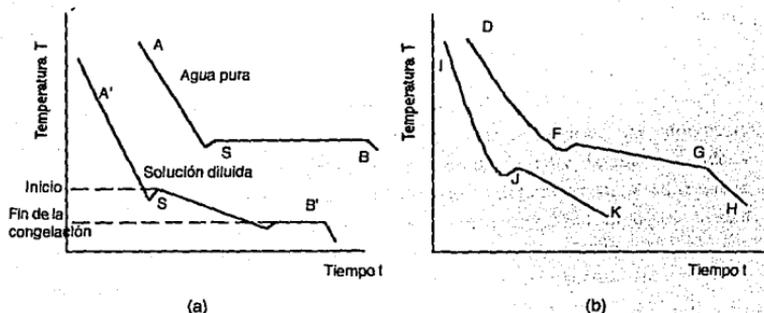


Figura 3. (a) Curva de congelación para el agua, Cheftel et al., 1983 (11); (b) curva de congelación para un alimento; Lewis, 1993 (29).

1. 4. Métodos de congelación.

1. 4. 1. Congelación por contacto directo.

Es un método donde el alimento se coloca en una placa metálica por la que circula algún congelante. Estos dispositivos aseguran una buena transmisión térmica, con un tiempo de congelación corto, con la reserva de que el producto mismo sea un buen conductor del calor; este es el caso, por ejemplo, de los filetes de pescado o de las espinacas picadas (Inst. Int. del Frío, 1990). Se distinguen tres tipos de congeladores de contacto: de placas [horizontales o verticales], de banda [sencilla o doble] y de tambor rotativo.

1. 4. 2. Congelación por aire.

El aire puede utilizarse a varias velocidades que van desde el congelador "agudo" de aire tranquilo hasta corrientes intensas de alta velocidad empleadas en el congelador de túnel. Las temperaturas del aire que se utilizan actualmente para hortalizas están generalmente alrededor de -30 a -40 °C y la velocidad del aire puede ser de 4 a 7 m/s. La velocidad de aire puede utilizarse para subdividir y mover partículas del material que se está congelando, como en el caso de la congelación en un lecho fluidizado (Potter, 1973; Brennan et al., 1980; Herrman, 1977).

1. 4. 3. Congelación por inmersión.

La congelación por inmersión establece un contacto directo entre el alimento o envase y el refrigerante. Los requisitos que deben cumplir los refrigerantes que se ponen en contacto con el alimento son: no ser tóxicos, pureza, limpieza, ausencia de sabores y olores extraños, etc. Los más utilizados son los líquidos criogénicos, nitrógeno líquido, dióxido de carbono (Potter, 1973; Inst. Int. del Frío, 1990)

1. 5. Definición y métodos de descongelación.

Aunque el proceso de descongelación es el inverso de la congelación hay diferencias importantes. Si un cuerpo es descongelado en una pieza, el calor de fusión tiende a transmitirse por conducción a través de una capa de producto descongelado, mientras que la congelación se transmite a través de una capa de producto congelado. La conductividad térmica del agua es aproximadamente la cuarta parte de la del hielo y la difusividad térmica aproximadamente ocho veces menor. Asimismo, la diferencia de temperatura entre el punto de congelación y el medio que cede el calor para la descongelación se encuentra restringida por el posible daño térmico a los productos (Brennan *et al.*, 1980).

La definición de descongelación queda especificada por la Comisión Mixta FAO/OMS del Codex Alimentarius, que define por descongelación de frutas y hortalizas a la «operación de someter el producto a condiciones controladas de temperatura hasta que el producto esté suficientemente exento de cristales de hielo».

Existen varios métodos de descongelación aplicables a alimentos, sin embargo la Comisión Mixta FAO/OMS del Codex Alimentarius recomienda tres métodos para frutas y hortalizas:

i) Descongelación por aire. Descongelación del producto en el envase, sin abrirlo, por exposición al aire de la temperatura ambiente con ventilación libre o forzada.

ii) Descongelación en agua por contacto indirecto. Descongelación del producto en un envase herméticamente cerrado por inmersión en agua, en reposo o corriente, a una temperatura que no exceda de 30 °C.

iii) Descongelación en agua por contacto directo. Descongelación del producto no envasado por inmersión en agua, en reposo o corriente, a una temperatura que no exceda de 30 °C.

1. 6. Escaldado en hortalizas.

El escaldado es necesario, porque la congelación no suspende totalmente en las hortalizas las transformaciones químicas y el escaldado detiene todos los procesos vitales de levaduras y mohos, además de inactivar enzimas que provocarían una decoloración y cambios en el sabor y aroma en los productos crudos; elimina gases de los tejidos, desnaturaliza las enzimas, lo

que ayuda a fijar el color verde y eliminar ciertos sabores intensos (Desrosier y Tressler, 1977; Herrman, 1977; Desrosier, 1983; Don et al., 1985).

La delicada arquitectura, tanto de las células como de los tejidos, se altera con facilidad, rompiéndose membranas y otros componentes estructurales lo que trae como consecuencia pérdidas de componentes constitutivos y en sustancias valiosas como azúcares, vitaminas, pigmentos y nutrientes (Herrman, 1977; Lafuente, 1985), además de que tiene un efecto directo sobre la textura del producto (Lafuente, 1985; Philippon y Rouet-Mayer 1985; Don et al., 1985).

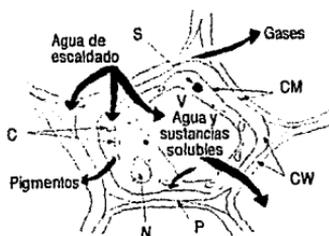


Figura 4. Efecto del escaldado en los tejidos vegetales: S, almidón gelatinizado; CM, membranas citoplásmicas alteradas; CW, pared celular alterada; P pectinas modificadas; N, proteínas nucleares y citoplásmicas desnaturizadas; C, cloroplastos y cromoplastos distorsionados. Fellows, 1994 (15).

Algunos estudios realizados muestran que el escaldado por inmersión en agua provoca menor daño al producto (Lafuente, 1985; Philippon y Rouet-Mayer 1985; Porsdal, 1986). entre estos estudios se encuentran los realizados por Lafuente y Philippon y Rouet-Mayer, ellos demuestran que el escaldado en dos etapas [stepwise blanching], provoca un menor efecto sobre la textura del producto. La operación consiste en sumergir a las hortalizas dentro de agua de 70 a 75 °C, de 8 a 10 min, después se enfría rápidamente, finalmente se somete a un escaldado a temperatura de 93 a 98 °C, durante 5 min. El tratamiento permite reafirmar la consistencia del producto (Philippon y Rouet-Mayer, 1985).

1. 7. Métodos de medición sensoriales y físicos en alimentos.

La calidad de las frutas y hortalizas es una combinación de atributos o propiedades que les proporcionan valor como alimento humano. Para los mayoristas y distribuidores lo más importante en los productos hortícolas es la calidad en términos de apariencia, así como la firmeza y una larga vida de almacenamiento. Mientras que los consumidores perciben que las

frutas son de buena calidad cuando se ven bien, [color agradable y libres de defectos mecánicos], tienen buena firmeza [textura firme] y parecen tener buen sabor y valor nutritivo (Yahia *et al.*, 1992). Cuando la evaluación de la apariencia la realiza el consumidor mediante el color, y la textura la evalúa presionando, se les conoce como pruebas sensoriales, mientras que la medición del color y la firmeza con aparatos se le conoce como pruebas físicas.

1. 7. 1. El color.

El color que se percibe de los alimentos no es más que la luz [región visible de 400 a 750 nm, entre el violeta y el rojo del espectro] reflejada por los mismos, y a su vez, es captada por el ojo humano, la retina del ojo humano tiene tres tipos de moléculas receptoras del color que contienen los conos de las células. Cada pigmento corresponde a un tono [de el se habla más adelante con más detalle] primario rojo azul y verde. Un determinado estímulo de color puede dar una respuesta en los tres receptores y el modelo de éste corresponde a determinada calidad de la sensación, por lo que se puede decir que el color está asociado con las ondas luminosas (Gross, 1987).

Los estudios realizados con relación al color llegaron a tres parámetros para definirlo en forma más exacta (Billmeyer y Saltzman, 1968; Minolta, 1993), los parámetros son los siguientes :

- 1) Color.- Esta cualidad se describe por las palabras rojo, amarillo, verde, azul, etc; al color también se le denomina Tono.
- 2) Claridad o luminosidad.- Los colores pueden separarse en "claros" y "oscuros" cuando se comparan con sus luminosidades. Esta característica define al producto como claro u opaco, se mide en una escala de 0 a 100, entre más se acerque a 100 el producto es más "claro".
- 3) Cromo o intensidad. Concentración o por ciento de contribución de cada colorante que compone al color global, está referido a la "pureza" del color.

Físicamente, el color de un objeto está midiéndose y representándose por las curvas espectrofotométricas, las cuales proyectan fracciones de luz incidente [reflejada] como una función de longitud de onda del espectro visible.

Los objetos ordinarios deben sus colores a la absorción selectiva de diferentes cantidades de luz dentro de la longitud de onda visible, donde la longitud de onda es absorbida, reflejada y transmitida por los objetos.

1. 7. 1. 1. Importancia del color en los alimentos.

El color es un factor dominante en la aceptación de un alimento por parte del consumidor. Un color atractivo que luce natural, atrae al consumidor a probar el alimento, mientras que un alimento sin color o con un color deteriorado produce el efecto contrario.

La medida del color es un importante medio de aseguramiento de la calidad en productos alimenticios. Aunque el color en frutas es una manifestación externa de la composición y forma de los pigmentos de las plantas (Shewfelt *et al.*, 1993).

1. 7. 1. 2. Medida del color.

La medición de los cambios en los pigmentos nos ayuda a comprender la fisiología, la madurez y la senescencia, ya que los cambios físicos repercuten en un impacto visual. Aunque la apariencia es función del color, en la actualidad hay instrumentos disponibles que detectan este factor (Hunter, 1987).

El color externo de los vegetales, de la pulpa y el jugo pueden ser evaluados con instrumentos altamente especializados, que miden la reflectancia de la luz desde la transmisión de la muestra. Ésta medición es más segura que la del ojo humano, ya que no se ve afectado por factores externos.

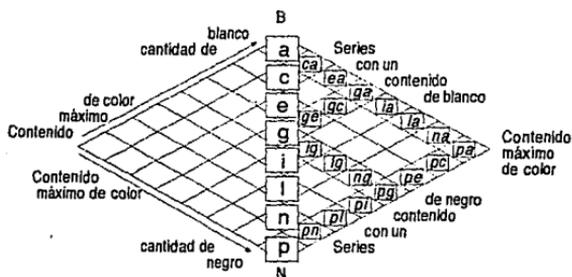
La visualización del color se realiza por comparación de estándares de color, atlas, cartas, abanicos o comparadores especiales de color, en donde la muestra es comparada. Todos estos desarrollados para estudiar las propiedades básicas del color. Entre los más sobresalientes se encuentran los realizados por Munsell [1929], Ostwald [1931], CIE [1931] y Hunter [1942].

El sistema Munsell se encuentra basado en el principio de la percepción visual de pequeñas diferencias de color, el sistema describe todos los posibles colores en términos de tres coordenadas Tono Munsell, Valor Munsell [claridad] y Cromo Munsell. Dos sobresalientes características del sistema Munsell contribuyen a su provecho y amplia aceptación. La primera es que iguala la percepción visual dentro de los límites de croma, las muestras se encuentran tabuladas en el *Munsell-Book of color*. No hay otro sistema tan bueno en este aspecto, el sistema Munsell es el estándar de todos los demás sistemas. El segundo mayor avance es la notación, ya que cualquier color existente puede ser ajustado dentro del sistema y de esta forma ser reproducido con colorantes .

En un principio la denominación Munsell estuvo determinada por una maraña, por lo que el sistema requirió de ajustes para evitar errores al reproducir el color. La nueva denominación es conocida como el *Sistema Rotacional Munsell* (Billmeyer y Saltzman, 1968).

En el sistema Ostwald los colores son descritos como "saturación de color", "contenido de blanco" y "contenido de negro", basados en términos de idealización de curvas espectrométricas que se obtienen apartir del estudio de los colores. La organización del sistema Ostwald enfatiza en las escalas de color, teniendo un contenido constante el tono, contenido constante de negro y contenido constante de blanco, éste sistema es particularmente importante para pintores, artistas, fabricantes de tinta y todos los que trabajan con mezclas de pigmentos coloreados con negro y blanco, en la gráfica 8 se muestra como son tabulados los colores, la gráfica está determinada por la longitud de onda de las partes verticales de la curva espectral de reflectancia.

Una colección de muestras arregladas con los principios del sistema Ostwald es conocida como *Manual de armonía del color*, en donde se encuentran más de 900 muestras con tonos brillantes y tonos moteados, se arreglan en grupos por tono de Ostwald. Cada grupo contiene un pigmento aproximado a un "semicroma" Ostwald [color que no contiene blanco o negro] y mezclas de él con negro y blanco, formando escalas de saturación de negro, saturación de blanco y saturación de color (Billmeyer y Saltzman, 1968).

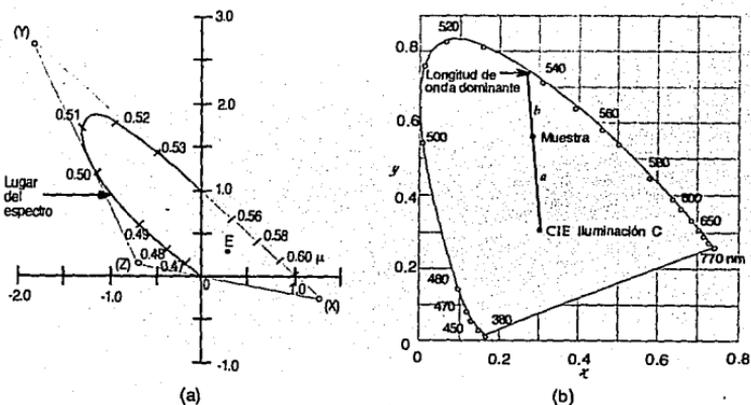


Gráfica 8. Sistema ajustado de coordenadas de color en el sistema Ostwald, basada en el contenido de blanco y contenido de negro. Billmeyer 1968 (5).

El sistema CIE (Comission International de l'Eclairage o International Comission on Illumination), es para muchos el sistema más importante para medir el color. En 1931 CIE realizó una descripción numérica de la respuesta del color al ojo humano, estas expresiones son «x», «y» y «z» [gráfica 9a](Billmeyer y Saltzman, 1968). Las coordenadas pueden ser determinadas en réplicas de color, experimentalmente se obtiene con luces coloreadas o se pueden calcular experimentalmente con curvas del espectro de reflectancia. Para la realización de los experimentos se necesitan tres componentes -una fuente de luz, un objeto

luminoso y un observador-, el sistema CIE requiere de una fuente de luz estándar y un observador estándar, para así de esta forma completar la descripción de color del objeto en estudio.

Para la medición directa del color Hunter desarrolló colorímetros que "leen" directamente el reflejo de la luz, la cual está basado en las coordenadas de la escala de CIE. Apartir de este estudio se desarrollarán la escala de CIE L^* , a^* , b^* [gráfica 9b] y la Hunter L , a , b . Cualquiera de las dos escalas proporciona información significativa, aunque la mayor parte de los investigadores, utiliza el sistema CIE $L^* a^* b^*$ para la medición de color en frutas y hortalizas (Shewfelt et al., 1993).



Gráfica 9. Gráfica de color del sistema CIE a) espectro obtenido con un observador estándar, en las coordenadas x , y y z . Wright, 1958 (64); b) diagrama de cromaticidad, la cual es obtenida a partir de la gráfica (a). Billmeyer 1968 (5).

La selección del equipo para medir el color, dependerá del objeto al que se desea aplicar y el rango de productos a ser probados. En la etapa experimental, la orientación de la muestra y apertura de la luz son críticos. La primera razón de los científicos en el uso de colorímetros para alimentos son las lecturas que relacionan a la percepción del color como lo percibe el ojo humano, esta percepción influye, como lo mencionamos antes, en la aceptabilidad y consumo posterior del producto. El humano y los colorímetros "ven" de forma diferente el color. El ojo humano ve al color en términos de claridad "valor", ésta

calidad del color se describe por las palabras luminosidad, oscuridad, oscuro, etcétera, tono [nombre del color, tal como rojo, azul o verde] y croma [esta cualidad describe hasta cierto punto la "pureza" del color], éstos integran algunas de varias señales complejas dentro de estos tres componentes. Los colorímetros no tienen la capacidad de integrarse directamente y así tienen que romper lo señalado descendiendo dentro de una construcción simple. Los instrumentos "ven" en términos de claridad o luminosidad L , se representa en una escala de 0 a 100, y varía de negro [0] a blanco [100], mientras que a y b expresan cromaticidad, así a varía de verdes [valores negativos] a rojos [valores positivos], y b de azul [valores negativos] a amarillo [valores positivos] (López-Andréu *et al.*, 1988). El lenguaje del instrumento mide L , a y b , puesto que tono, croma y claridad son términos relacionados a la percepción humana. Se puede convertir el lenguaje del colorímetro, por medio de algunos simples cálculos matemáticos, a números que tienen relevancia para los humanos. A los colorímetros un incremento en amarillo es señalar un incremento en la magnitud de $+b$. Así, en términos del colorímetro, los amarillos son una muestra que puede incrementarse siempre si la lectura $+b$ exhibe un gran decremento. Igualmente los amarillos de una muestra pueden disminuir si la lectura $+b$ incrementa y la lectura $+a$ exhibe un gran incremento (Shewfelt *et al.*, 1993). El croma C se puede medir utilizando la siguiente fórmula :

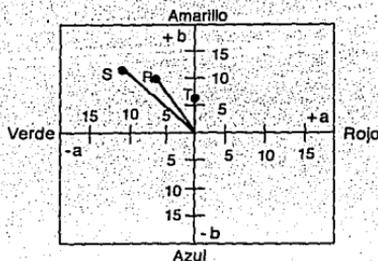
$$C = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (\text{Hunter})$$

$$C = (a^*2 + b^*2)^{1/2} \quad (\text{CIE})$$

En el cuadro 7 y gráfica 10 se muestra un ejemplo mostrando que la manzana S es más amarilla que la manzana R, como es una vuelta más amarilla que la manzana T en el colorímetro. Sin embargo, en términos del ojo humano de percepción, no se visualizan claramente los cambios de amarillo. Las diferencias en el croma puede afectar la percepción humana en este caso, pero usualmente el tono es el más importante en la percepción de frutas de calidad en vegetales (Shewfelt *et al.*, 1993).

Manzana	L	a	b	b/a
R	35	-5.0	+10.0	-2.00
S	35	-10.0	+12.5	-1.25
T	35	0	+7.5	∞

Cuadro 7. Ejemplo de las diferencias muestras en amarillos de las manzanas "Golden Delicious", y de como es percibida por el colorímetro. Shewfelt y Prussia, 1993 (55).



Gráfica 10. Ilustración de como el colorímetro percibe el amarillo en las muestras. Shewfelt y Prussia, 1993 (55).

1. 7. 1. 3. El color en fresas.

El color de las fresas es uno de los atributos más importantes, y repercute directamente en su aceptación por el consumidor. El color es diferente de cultivo a cultivo y varía de un suave rojo-naranja a un rojo púrpura oscuro en las frutas maduras. Internamente el color puede variar del centro blanco de la fruta con un rojo púrpura oscuro a un color uniforme a lo largo de la fruta hasta cubrir el rango completo del color. El color de un genotipo es influenciado por la madurez, daño físico, tiempo y temperatura después de la cosecha y otros factores tales como pH, actividad de oxidación del polifenol, ácido ascórbico y fenoles totales. Mientras que el deterioro del color en fresas ha sido atribuido a varios factores incluyendo madurez, cultivo, método de cosecha, manipulación, prácticas de cultivo y factores del medio ambiente. Del mismo modo, los cambios en los caracteres son controlados por el genotipo o cultivo y madurez por métodos de cosecha, manipulación, daño físico, tiempo y temperatura del terreno contribuye significativamente e integralmente en la fruta. Los métodos de cosecha y factores ambientales juegan un papel en el carácter de la fruta pero a una menor extensión de otros factores (Sistrunk et al., 1960; Sistrunk y Moore 1971).

A) Antocianinas.

A los pigmentos encargados de darle color a las fresas se les conoce como antocianinas, las antocianinas son pigmentos rojizos y azules que se encuentran ampliamente distribuidas en el reino vegetal.

Todas las antocianinas pertenecen a un grupo de de glucósidos cuya estructura general es el 2-fenilbenzopirilo o ión flavilio [Figura 7]. Están formadas por una molécula de

antocianidina [aglicón] que se une a una fracción de carbohidrato a través de un enlace β-glicosídico. Los carbohidratos pueden ser D-glucosa, D-galactosa, etcétera (Tafuya y García 1993).

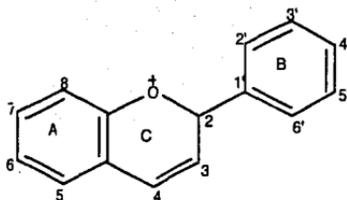


Figura 5. Núcleo flavilío. Gross, 1987 (22).

Además de encontrarse en las fresas, también se encuentran en: zarzamoras, cáscaras de manzana, higo, cerezas, berenjenas, grosellas y ciruelas. Las antocianinas más abundantes se muestran en el cuadro 8. El número conocido de antocianinas ha aumentado desde 1976, actualmente se conocen 17.

Antocianina	Color	Productos donde se encuentran
Cianidina	Azul	Higos, cerezas, ciruelas y uvas
Delfidina	Azul oscuro	Berenjenas
Maividina	Rojo	
Pelargoidina	Rojo	Fresas y grosellas
Peonidina	Púrpura	Zarzamoras
Petunidina	Violeta	

Cuadro 8. Muestra en dónde se encuentran las antocianinas más comunes. Gross, 1987 (22).

B) Causas de alteración.

El deterioro de las características del color en las fresas es el resultado de la maduración, cosecha, manipulación, procesamiento, almacenamiento y congelación la cual presenta uno de los mayores problemas.

Además de los factores que anteriormente se mencionan los cambios en el color pueden deberse a transformaciones de:

A) pH.- Durante los cambios de pH puede ocurrir la pérdida de color por la formación de una pseudobase de carbinol, que puede estar en equilibrio con la "chalco" [edulcorante 1500 veces más potente que la sacarosa].

B) Bióxido de azufre o sulfitos.- Pérdida de color o formación de tonalidades púrpuras [formación de compuestos más estables]. Para regenerar el color basta con calentar en medio

ácido. Este fenómeno ocurre en productos como mermeladas, vinos y cerezas.

C) Acido ascórbico.- Cuando ocurre la oxidación de éste ácido las antocianinas se tornan de un color café rojizo.

D) Iones metálicos y sales.- Catalizan las reacciones de coloración.

E) Aminoácidos, fenoles y azúcares derivados.- Pérdida de color por condensación.

F) Actividad enzimática.- Glucosidasas, fenolasas, causan variación o pérdida de color.

G) Actividad de microorganismos.- Degradación de color por metabolización.

H) Aire y luz.- Provocan pérdida de color.

Se han estudiado varios componentes químicos de las fresas individualmente para determinar el efecto de la congelación (Pattee, 1985). El principal pigmento deantocianínico en fresas es el plargonidín 3-glucosa (P3G), el cianidín 3-glucosa (C3G) es el pigmento secundario (Cash y Sistrunk, 1970), después de la congelación éste es mucho más estable que el P3G. Las cosechas varían en la cantidad de concentración de C3G de una a otra. La pérdida de color puede tener lugar rápidamente por la extrema inestabilidad del C3G, esto cuando se somete a un proceso como el de congelación, mientras que el C3G contribuye a la estabilidad del color rojo después de la congelación, ya que un elevado contenido de C3G provoca estabilidad al deshielarse las fresas (Pattee, 1985).

C) Medición del color en las fresas.

Varias pruebas objetivas han sido empleadas en la evaluación de fresas frescas y congeladas en fruta cultivada, seleccionada y de calidad (Bourne *et al.*, 1966; Sistrunk *et al.*, 1960; Sistrunk y Moore 1971). El color de las fresas se ha logrado medir con el colorímetro Hunter por varios investigadores como Sistrunk y Moore 1967, 1971 y 1979; Sistrunk *et al.*, 1960 y Robinson *et al.*, (1947), que demostraron que al seleccionar las fresas y extraer el color muestran una máxima absorción a 500 nm. La densidad óptica a 500 nm, fue corregida significativamente con un color rojo como rango de un panel de control. La densidad óptica total es medida con la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad Óptica} \times \text{Dilución}$$

En donde se utiliza un factor de alcohol acidificado extraído de fresas, ha sido usado para determinar la concentración de pigmentos (Lundergan y Moore 1975). Además ocurre una variación considerable para todas las poblaciones (Pattee, 1985).

1. 7. 1. 4. El color en brócoli.

La pérdida del color verde es el mayor factor limitante en la reducción de vida de anaquel en el almacenamiento del brócoli fresco, entre los problemas más serios se encuentra el

cambio de verde a un amarillo en los floretes. Los floretes se vuelven amarillentos muy rápidamente, especialmente a altas temperaturas. El amarillento del brócoli en los floretes provoca un rechazo por parte del consumidor, además de que limita el almacenamiento y la vida de anaquel. El retardo del amarillo es importante para mantener la estabilidad del brócoli, para lograr este objetivo se procede a escaldar al producto, de esta forma se eliminan los posibles brotes amarillentos en los floretes (Gross, 1987).

A) Clorofila.

El color verde del brócoli se debe al pigmento más importante de las plantas, la clorofila, ya que es muy importante en los procesos fundamentales de la vida de la planta, la fotosíntesis, que es la transformación de la energía luminosa a energía química.

Las porfirinas son la estructura básica de las clorofilas obtenida por la unión sucesiva de cuatro piranosas [figura 6a y 6b], con un átomo central de Mg y una cadena de fitol unida a un ácido propiónico en uno de los anillos que conforman la porfirina (Gross, 1987).

Todas las plantas verdes contienen clorofila *a* [$C_{55}H_{72}O_5H_4Mg$] de color azul cuando es sólida y la clorofila *b* [$C_{55}H_{70}O_5Mg$] de color verde oscuro. La diferencia entre la clorofila *a* y *b* es solamente la sustitución de un aldehído en la clorofila *b* = -CHO por la de un grupo metilo en la *a* = -CH₃, que se encuentra en la posición 3. Éstas son sensibles a la luz, calor, oxígeno y degradación química y de extrema labilidad. Los dos pigmentos fueron separados por primera vez en 1906 por Tswett (Gross, 1987).

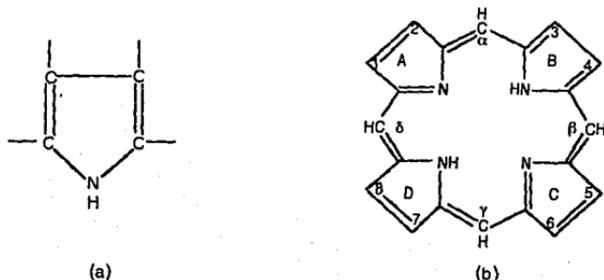


Figura 6. (a) Piranosas y (b) esqueleto de la porfirina. Gross, 1987 (22).

B) Causas de alteración.

Entre las causas que alteran a las clorofilas se encuentran:

A) Ruptura de la porfirina, - Pérdida de color.

B) Hidroperóxidos.- Pérdida de color.

C) Irradiaciones.- Degradación paulatina de color.

D) Feofitización, formación de clorofilida y feofitina.- Ocurren durante los procesos de deshidratación, congelación, tratamientos drásticos de temperatura y fermentación.

En los productos correctamente escaldados y congelados se observan en primer lugar la aparición de transformaciones de la clorofila [cambios de color], luego de la pérdida en vitamina C y, poco después la de alteraciones del sabor y del aroma.

Los cambios de color obedecen a que la clorofila *a* y la *b* se transforman en feofitina *a* y feofitina *b*, a cuyo efecto el magnesio desaparece como átomo central y es sustituido por hidrógeno, determinando entonces que la clorofila *a* vare de verde azulado a verde aceituna.

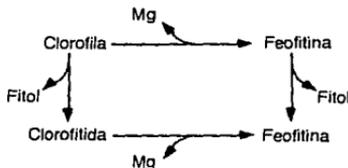


Figura 7 Transformaciones de la clorofila al sustituir al Mg.

Además de la transformación de clorofila en feofitina, que en parte se produce en el curso del escaldado, existe una segunda forma de cambio de color; consiste en la destrucción de la clorofila y de la feofitina, la cual sólo tiene lugar en el período del almacenamiento.

El tiempo de escaldado también ejerce una gran influencia sobre la conversión de la clorofila en feofitina, si se lleva a cabo adecuadamente el escaldado sólo se pierde una pequeña parte de la clorofila, lo que provoca, tras la congelación, obtener un producto de agradable color verde.

C) Medición del color en brócoli.

El análisis de clorofila ha sido realizado por varios investigadores (Fuller *et al.*, 1977; Wang, 1979; Batal, *et al.*, 1982), así como la alteración objetiva. Otros tipos de medición son los métodos analíticos, basados en la extracción de la clorofila, los métodos espectrofluorométricos, que determinan la cantidad de clorofila *a* y *b*, y los métodos no-destructivos, donde los pigmentos son evaluados directamente con un colorímetro, dejando la muestra intacta (Gross, 1987). En la actualidad el más utilizado es el último método por su rapidez y eficacia, además de poder evaluar la misma muestra a todo lo largo de la experimentación de la congelación y el almacenamiento.

1. 7. 2. Textura.

La Reología es la ciencia que se encarga del estudio de la deformación de la materia, y se ocupa preferentemente de la deformación de los cuerpos aparentemente continuos y coherentes, ya que frecuentemente estudia los efectos de la fricción en sólidos, flujo de fluidos, flujo de polvos, flujo de líquidos con sólidos en suspensión, pero también se encarga del estudio de comportamiento de muchos alimentos sólidos [carne, pescado, frutas y hortalizas] que son estructuralmente muy complejos y casi siempre anisótropos [que no tienen las mismas propiedades en todas direcciones] (Muller, 1973).

La textura se puede considerar como la respuesta integrada de los estímulos del tacto [oral o no oral], como resultado de la aplicación de un esfuerzo, en este caso a un alimento; no se refiere a una sola propiedad si no al conjunto de varios atributos. La textura se refiere a sólidos; en los semisólidos es consistencia y en los líquidos viscosidad (Badui, 1988).

La firmeza es el principal atributo de la textura que es medida a las frutas y hortalizas. La firmeza se conoce como la resistencia a la deformación, usualmente es medida por destrucción, con un instrumento que presiona con un punzón en forma de aguja a la muestra, el punzón puede penetrar o compactar a la muestra (Shewfelt *et al.*, 1993). Un indicador de la firmeza es obtenido por la fuerza necesaria para realizar la penetración al sondear una forma geoméricamente definida estándar a una distancia específica. Estas pruebas pueden ser reemplazadas por pruebas de deformación no-destructivas (Bourne, 1973). La prueba de deformación se realiza en forma directa y tiene la ventaja sobre la prueba del punzón de poder ser repetida en algunos frutos durante todo el estudio del almacenamiento. Es materia de discusión si esta prueba de deformación es verdaderamente no-destructiva, esto es debido a que precisamente pequeñas deformaciones pueden provocar pequeños daños en la membrana de la prueba o en general al alimento (Yang y Pratt, 1978).

En la medida de la textura se ve afectada por el tamaño del área superficial para la deformación del producto por el punzón, la geometría de la muestra, los medios de soporte y la interacción del instrumento así como la muestra. El instrumento de penetración o de deformación puede dar los datos de firmeza en fuerza.

Otro factor que puede alterar o afectar las medidas de las muestras es la temperatura, para evitar esto es recomendable estandarizar la temperatura de la muestra (Bourne, 1982).

En algunas pruebas se quita la piel [se descascara o se remueve la piel]. Por ejemplo en el análisis de tomate, el pelado es usual. Mientras que en la mayoría de las pruebas no es necesario realizar el pelado (Shewfelt *et al.*, 1993).

1. 7. 2. 1. Evaluación de la textura.

Para expresar el comportamiento mecánico existen dos procedimientos; el primero es el método sensorial que consiste en tocar, estrujar, morder o masticar el alimento y describir las sensaciones. Estas apreciaciones varían ampliamente con el individuo que las efectúa, por lo que se necesita un tratamiento estadístico para poder evaluarlas adecuadamente. El segundo grupo de procedimientos de evaluación utiliza métodos físicos, en este caso el valor no depende del individuo que lo realiza, estos métodos suelen ser considerados como "objetivos". Los resultados obtenidos se expresan en metros [m], kilogramos [Kg] y segundos [s] (Muller, 1973).

Muchos alimentos sólidos [carne, pescado frutas y hortalizas] son estructuralmente muy complejos y casi siempre anisótropos. No cumplen con la ley de Hooke, salvo, si acaso, dentro de un rango de tensiones reducido. Por ejemplo las peras blancas pueden contener algunas células con cristales inorgánicos; algunos guisantes de carne blanda contienen semillas y piel más dura, los espárragos y la carne pueden ser fibrosos (Muller, 1973).

La determinación experimental de las propiedades reológicas en alimentos sólidos se puede realizar por tres tipos de mediciones (Barbosa y Peleg, 1988; Lewis, 1993; Tecante, 1994):

1.- Pruebas fundamentales son aquellas en las cuales se determinan funciones materiales bien definidas, tales como el módulo de elasticidad, la viscosidad, los módulos dinámicos, etcétera. Por lo que, en todos los casos el comportamiento reológico del alimento puede ser descrito matemáticamente.

2.- Pruebas de imitación diseñadas para simular las condiciones de proceso o condiciones prácticas de esfuerzo y deformación relativa, en casos especiales miden propiedades reológicas bajo condiciones geométricas similares a las que se dan en la práctica, por ejemplo, simulación de la masticación en la boca. El texturómetro para alimentos de la General Foods, ha sido diseñado para simular el proceso de masticación.

3.- Pruebas empíricas en las cuales se determinan parámetros que no pueden ser expresados en términos de unidades reológicas fundamentales, pero que son útiles pues se correlacionan con uno o más atributos texturales y, de este modo pueden emplearse como medida indirecta de tales atributos. Además los equipos utilizados son simples rápidos y reproducibles. Por otra parte exhiben facilidad de operación y no son comparativamente caros. Con frecuencia estos parámetros dependen de la geometría de la muestra y de las condiciones de prueba. La fuerza puede aplicarse en varias formas como los mostrados en la figura 8.

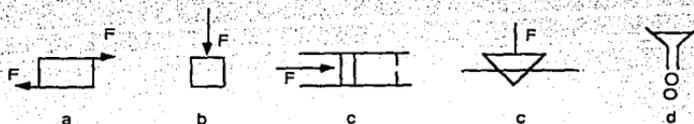


Figura 8. Esquema de algunos métodos disponibles para someter los alímetos a una fuerza a) cizalla; b) compresión; c) extrusión; d) penetración; e) flujo. Lewis, 1993 (29).

La ventaja de los procedimientos empíricos estriba en que son mucho más rápidos y simples que las determinaciones fundamentales; el inconveniente de los mismos consiste en que los resultados son específicos del instrumento usado. Las pruebas empíricas tienen que ser correlacionadas estrictamente con el comportamiento del producto, de lo contrario su valor es muy dudoso.

1. 7. 2. 2. Deformación relativa.

Al intentar deformar a los alimentos presentan un determinado comportamiento mecánico. Esto se debe a que algunos son duros otros blandos, fibrosos o correosos; gomosos o quebradizos. Algunos fluyen fácilmente, otros con dificultad.

Los cuerpos se deforman o cambian de tamaño cuando sobre ellos actúa una fuerza, cuando se les somete a una tensión; ejemplos típicos de deformación son el alargamiento y la compresión. La deformación relativa [Strain] es el cambio relativo de dimensión o forma de un cuerpo sometido a un esfuerzo. Por lo que podemos decir que la deformación relativa es una reacción inducida por el esfuerzo (Tecante, 1994). Existen dos tipos de deformación relativa. Si se indica la longitud original, L , y cada incremento medido, l , la longitud valdrá en cualquier instante del experimento $L+l=L'$. l/L es la llamada expresión de Cauchy de la deformación relativa. l/L' constituye la llamada expresión de Swainger. En el cálculo de la tensión debe tenerse en cuenta la disminución del área de la sección. De esta manera se puede decir que a cada tensión o esfuerzo aplicado le corresponde una deformación relativa, cuya magnitud depende del material considerado. Sometidos a la misma tensión los alambres de unos metales manifiestan deformaciones relativas más altas y los de otros más bajas (Müller, 1973).

En la figura 9 se muestran las distintas formas en las que se deforman los alimentos elásticos.

1. Cuando la fuerza es aplicada perpendicularmente al área definida por el esfuerzo, como

se ilustra en la figura 9A, el módulo calculado se llama módulo de Young.

2. Cuando la fuerza es paralela o tangencial al área definida por el esfuerzo, ver figura 9B, el módulo calculado se llama módulo de rigidez o módulo de cizalla.

3. Cuando la fuerza se aplica en todas direcciones de manera isotrópica se provoca un cambio de volumen, ver figura 9C, entonces el módulo calculado se le llama módulo de compresión (Rao, 1992).

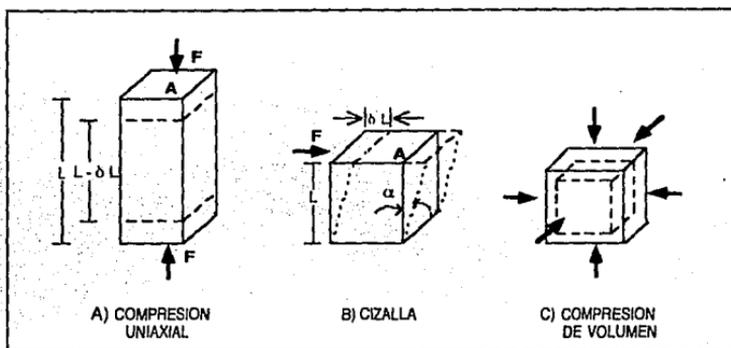


Figura 9. Compresión uniaxial normal, de cizalla y compresión de volumen de un sólido elástico. Rao, 1992 (50).

1. 7. 2. 3. Evaluación empírica de la textura.

Entre los dos tipos principales de instrumentos de medición por métodos empíricos se encuentran los que miden la fuerza y los que miden la distancia. Los primeros miden la fuerza requerida para penetrar, comprimir, deformar o extruir un alimento. La fuerza empleada causa en el alimento una compresión irreversible; la profundidad de penetración se mantiene constante y se mide la fuerza ejercida. En el equipo medidor de distancia, el alimento se somete a una fuerza constante, y se mide la deformación. Entre los aditamentos que miden el comportamiento mecánico de los alimentos se encuentran los mostrados en la figura 10, los cuales ejercen una fuerza de compresión constante durante la experimentación.

Los instrumentos universales de medida más conocidos son el Wolodkewitch Bite Tenderometer, la LEE Kramer Shear Press y la Instron Testing Machine, siendo este último el más utilizado para experimentaciones con alimentos.

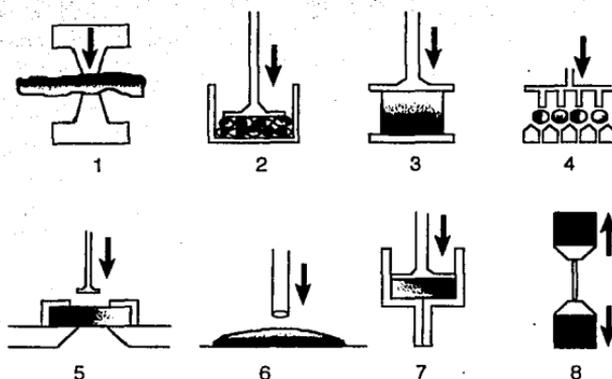


Figura 10. Celdillas utilizadas con los instrumentos de ensayo universales. 1) Medidor de la dureza de la carne; 2) Extrusor (de uvas); 3) Compresímetro de placas; 4) Penetrómetro para guisantes; 5) Medidor de resistencia a la cizalladura; 6) Penetrómetro para manzanas; 7) Extrusor capilar; 8) Ensayos de alargamiento. Muller, 1973 (46).

1. 7. 2. 4. Penetrómetro.

Es un equipo sencillo para medir la distancia a la que un cono o varilla penetra en un alimento a un determinado tiempo. En su forma más simple el cono se coloca sobre la superficie del alimento y se descarga durante un tiempo determinado. Al final de dicho tiempo el cono se fija con una mordaza y se mide la profundidad de penetración con una escala, ver figura 11.

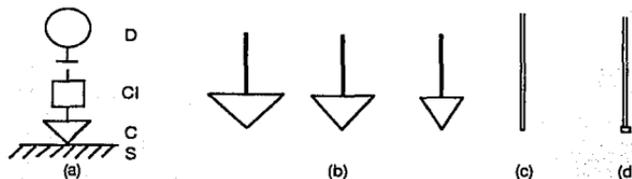


Figura 11 a) Penetrómetro de cono mostrando superficie del alimento S, el cono C, la mordaza Cl, y el indicador D; b) variación en el tamaño del cono; c) varilla; d) discos. Lewis, 1993 (29).

La profundidad de penetración dependerá del peso del cono y del ángulo, el tipo de material, su temperatura y el tiempo de penetración.

Capítulo 2

Metodología.

2. 1. Objetivos.

Objetivo General.

Evaluar la influencia de los procesos congelación-descongelación, con empaque y sin empaque en la textura y estabilidad del color del brócoli y fresa.

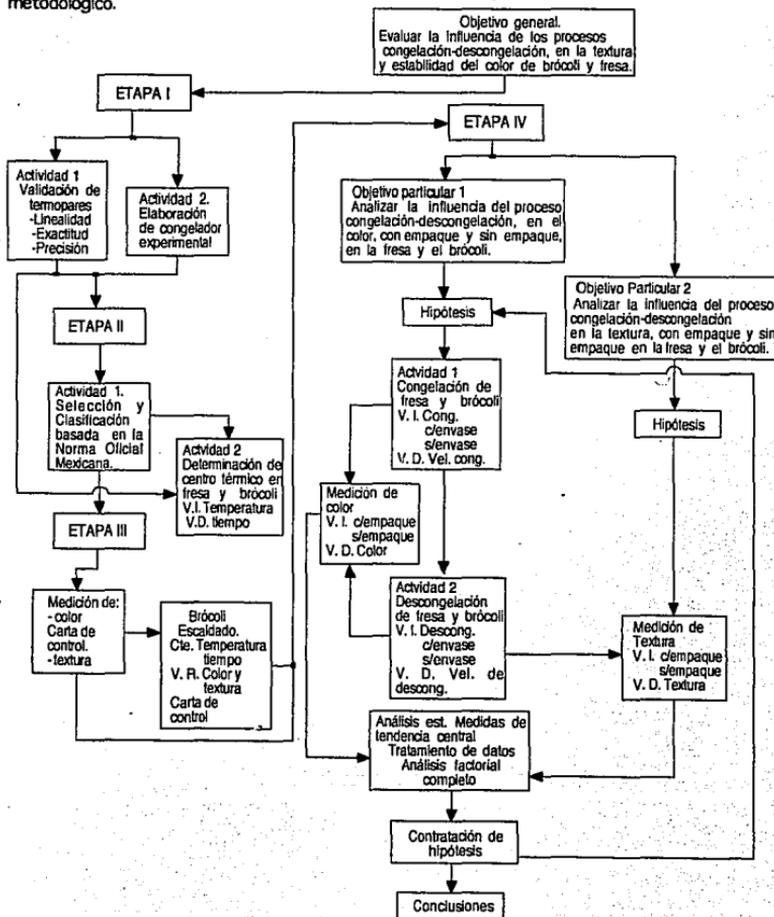
Objetivos Particulares.

-Analizar la influencia del proceso congelación-descongelación, en el color con empaque y sin empaque, en brócoli y fresa.

-Analizar la influencia del proceso congelación-descongelación en la textura, con empaque y sin empaque, en brócoli y fresa.

2. 2. Cuadro metodológico.

Para la secuencia del desarrollo experimental se propuso el siguiente cuadro metodológico.



2. 3. Hipótesis.

El trabajo plantea una experimentación analizando el proceso congelación-descongelación en la fresa y el brócoli por lo que se proponen las siguientes hipótesis:

HIPOTESIS 1.

La congelación y descongelación indirecta afectará más las cualidades de color en el brócoli y la fresa, mientras que una congelación y descongelación directa afectará al producto pero en menor proporción.

HIPOTESIS 2.

La congelación y descongelación indirecta aumentará el daño en la textura del brócoli y la fresa; la congelación y descongelación directa afectará al producto en menor proporción.

2. 4. Variables.

Se realizó un análisis de control al producto fresco y escaldado (en brócoli), por lo que en esta parte de la experimentación no se proponen variables.

Al proponer el estudio de la influencia de la congelación-descongelación directa e indirecta podemos decir que son las variables que podemos controlar, por lo tanto las variables que dependen de lo anterior son la velocidad de congelación y la de descongelación.

Las variables que se estudiaron con el estudio planteado son el color y la textura, este análisis lleva a plantear el cuadro 9, en donde se muestran las variables:

Producto	Constantes	V. independiente	V. dependiente	V. de respuesta
Congelado	temp. de congelación	C/empaque, S/empaque	Vel. de cong.	color
Descongelado	temp. de descongelación	C/empaque, S/empaque	Vel. de descong.	color y textura

Cuadro 9. Variables del proceso.

Para la contrastación de las hipótesis se propone el siguiente desarrollo experimental.

2. 5. Desarrollo experimental.

El desarrollo metodológico se dividió en cuatro etapas. En la primera etapa se realizaron dos actividades la actividad uno parte con la validación de los termopares, la validación se realiza con el fin de controlar la medición de la temperatura durante todo el proceso congelación-descongelación, en la segunda actividad se elaboró el congelador en donde se experimentó, tomando como base de diseño las características de velocidad de aire y

temperatura de congelación de un túnel de congelación.

En la segunda etapa se realizaron dos actividades, en la actividad uno se preparó la materia prima realizando la selección, clasificación y lavado bajo la norma oficial mexicana, tanto para el brócoli como para la fresa, la actividad dos se realizó encontrando el centro térmico de la fresa y el brócoli, ya que se encontró el centro térmico se colocó un solo termopar a tres muestras en este punto en la experimentación, de esta forma se logró un mejor manipuleo de las muestras al ser congeladas.

La tercera etapa se dividió en dos actividades, la actividad uno se realiza midiendo el color y la textura a la fresa y el brócoli en estado fresco, en la actividad dos se escaldó al brócoli, después se le midió el color y la textura.

La cuarta etapa se dividió en dos objetivos, en el primer objetivo se analiza la influencia de la congelación en el color de la fresa y el brócoli, para tal estudio se dividieron los lotes para ser congelados unos con un empaque plástico de polietileno, [se eligió este material debido a que es el más comercial][congelación indirecta] y otros sin empaque [congelación directa], a continuación se realiza la descongelación dividiendo lotes en congelación directa e indirecta.

Todo se realizó con el mayor cuidado posible, ya que se trata de controlar el proceso y observar los posibles cambios que se pudieran ocasionar al producto en la congelación-descongelación, para llevar a cabo lo anterior al producto fresco se le realizó una carta de control tomando a la media del tono [medida del color] como medida de dispersión, para eliminar las muestras que estuvieran fuera de los límites y pudieran afectar la obtención de conclusiones, por último se realizó una medición con los datos para obtener de tendencia central y de dispersión.

En el segundo objetivo se realiza el estudio de la textura en la fresa y brócoli utilizando las muestras que se obtuvieron en la congelación y descongelación directa e indirecta.

Para la textura se tomaron tres muestras para ser evaluadas y observar gráficamente el efecto de una presión ejercida en el producto fresco, escaldado [en brócoli] y descongelado, los dos primeros como índice de comparación sobre los efectos congelación-descongelación.

Los datos de tono [color] de la fase congelación-descongelación se tabularon para ser analizados con un estadístico de tipo factorial. En la prueba de textura se tomaron los últimos valores de la fase congelación-descongelación, para ser analizados por un estadístico de factorial múltiple. Dicho análisis únicamente se pudo realizar en el brócoli debido a que las fresas sufrieron ruptura antes del tiempo establecido

Una vez analizados los datos se obtuvieron las conclusiones.

2. 6. Diseño experimental.

ETAPA I.

Actividad 1. Validación de termopares.

La validación se realiza con el objeto de tener un control durante todo el proceso de la experimentación (Roftus y Nash, 1984), la validación se realizó con los criterios de:

1. Linealidad. Nos permite predecir el valor de la variable dependiente que está asociado con un valor específico de la variable independiente.
2. Precisión [Repetibilidad] Se refiere al grado con el que las mediciones concuerdan entre sí.
3. Exactitud. Nos indica el valor "verdadero" o real de la magnitud que se mide.

La validación de los termopares se inicia con la obtención del termopar patrón. Con este se realiza la corrección de la temperatura a los demás termopares, esto con el fin de tener un método de medición repetitivo, confiable y exacto.

Los termopares validados fueron de constantán-cobre tipo T con diámetro 1/8 pulgadas y una caja registradora de lecturas para termopares.

En un recipiente de poliestireno expandido se colocó hielo, el recipiente se cubrió con una tapa del mismo material, en la cubierta se hicieron orificios de tal forma que, se pudieran introducir los termopares, una vez realizados los orificios se procuró que los termopares tuvieran contacto con el hielo durante toda la experimentación, se tomaron 30 lecturas cada minuto de todos los termopares.

Se midieron 200 ml de agua y se colocaron en un vaso de precipitado, el vaso se colocó sobre un tripie con una malla de asbesto, con ayuda de un mechero Bunsen se calentó el agua hasta su punto de ebullición, en ese momento se quitó de la fuente de calor y se introdujeron los termopares, se tomaron 20 lecturas cada minuto a cada termopar; para el aceite se midieron 200 ml, se realizó el mismo procedimiento que el agua, pero el aceite se calentó hasta la temperatura de ebullición del agua, se le quitó la fuente de calor y se tomaron 20 lecturas cada minuto a cada termopar.

Obtención de:

- a) LINEALIDAD: Graficar la temperatura contra el tiempo de la agua caliente y del aceite caliente, para obtener una regresión lineal.
- b) PRECISION (REPETIBILIDAD): Se elabora un diagrama de frecuencias y un histograma, con las temperaturas tomadas al hielo.
- c) EXACTITUD: Del histograma de frecuencias se obtienen las medidas de dispersión: Coeficiente de variación y Desviación estándar.

• Elección del termopar patrón.

El termopar que cumpla con la mayor precisión, más repetibilidad y la mejor linealidad será el termopar patrón. Para la corrección de cada termopar se realizó lo siguiente:

Se graficaron las temperaturas del termopar patrón contra la temperatura de cada termopar.

Obtener coeficientes de regresión, pendiente y ordenada al origen.

$$T_a = mT_p + b$$

Donde: T_a = Temperatura del termopar a corregir.

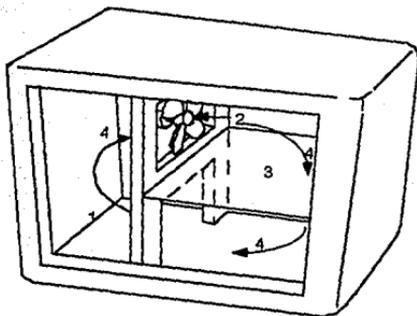
T_p = Temperatura del termopar patrón.

Considerando que $T_p = T_c$, donde: T_c = Temperatura del termopar corregido.

$$T_a = mT_c + b \quad \text{Despejando } T_c: \quad T_c = \{ (T_a - b) / m \}$$

Actividad 2. Diseño y elaboración de la cámara de congelación.

Para la realización del congelador se consideraron las condiciones de velocidad del aire y la temperatura del medio de congelación de un túnel, empleando como medio refrigerante hielo seco (Anhídrido carbónico).



1. Banco de hielo.
2. Ventilador.
3. Cámara de congelación
4. Circulación del aire

Figura 12. Congelador experimental.

La velocidad del aire fue de 3.6 m/s, ésta fue evaluada con un anemómetro G-05951-75 LED Vane, con una resolución de 0.1 y una exactitud de $\pm 3\%$. Para la medición de la temperatura se utilizaron los termopares validados colocándose dos a distintas alturas, la temperatura promedio fue de -40 a -45 °C.

ETAPA II.

Actividad 1. Características de la materia prima.

La experimentación se llevó a cabo como se muestra en la figura 13.

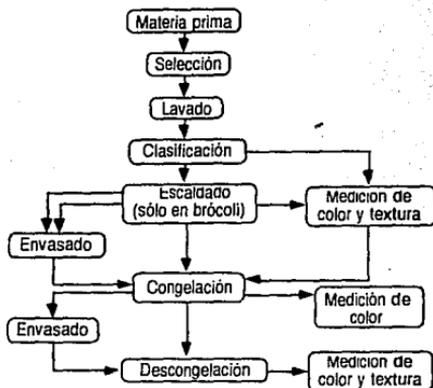


Figura 13. Diagrama de la congelación de la fresa y brócoli.

La materia prima fue comprada en la Central de Abasto del Distrito Federal, todas las muestras se consiguieron en el mismo local, las características físicas de la fresa y el brócoli sirvieron para saber la especie a la cual pertenecían, las características se mencionan en las páginas 6, 7, 13 y 14, el origen de procedencia de la fresa fue Guanajuato, mientras que el de el brócoli es Sn. Andrés Mixquic en México, Distrito Federal.

• Preparación de fresas.

Se formaron tres lotes de 20 muestras cada uno con las siguientes especificaciones:

- i. Materia prima: se utilizó el género y especie *Fragaria vesca*.
- ii. Se separa el cáliz y material del campo para ser lavadas.
- iii. Las muestras fueron clasificadas siguiendo la norma oficial mexicana, los parámetros son los siguientes:

a) Variedad: Tioga

b) Tamaño. Diámetro 2.6 a 3.2 cm. El diámetro ecuatorial se midió con un Vernier.

c) Especificaciones sensoriales:

- Fresas frescas, limpias, sanas, enteras y bien desarrolladas.

- Forma característica de la variedad
 - Estar prácticamente libres de descomposición o putrefacción.
 - Estar libres de defectos de origen mecánico, entomológico, metereológico y fisiológico [genético].
- d) Madurez. Superficie de color rojo, que se extiende del ápice hacia la base del pedúnculo, y cubrir del 50 hasta el 100%.

• Preparación de brócoli.

Se formaron tres lotes de 20 muestras cada uno con las siguientes especificaciones:

- i. Materia prima: se utilizó la especie *Bassica oleracea* L.
 - ii. Las muestras fueron limpiadas de las hojas que cubren al florete, para a continuación ser partidos en las medidas que se mencionan en el inciso c, después se lavaron y se les midió el color.
 - iii. El brócoli fue seleccionado siguiendo la norma oficial mexicana, las características que reunió fueron las siguientes:
 - a) Variedad: Waltham #29
 - b) Tamaño: El diámetro del florete se encuentra de 7 a 9 cm., y el tallo de 4 cm.
 - c) Especificaciones sensoriales:
 - Brócolis frescos, limpios, sanos, enteros y bien desarrollados.
 - Forma característica de la variedad.
 - Estar libres de descomposición o putrefacción, libre de defectos de origen mecánico, entomológico, metereológico y fisiológico [genético].
 - d) Madurez: La madurez del brócoli se determina por su compactancia [prueba manual].
- Se trató de que se eligieran en estado de sazón que es cuando las yemas están cerradas y la inflorescencia es compacta.

Actividad 2. Centro térmico.

Debido a que no todas las zonas de la fresa y el brócoli se congelan a la misma velocidad, es importante encontrar la zona en que tarda más en congelarse para obtener una congelación total del producto.

La fresa y el brócoli se congelaron por el método de aire forzado, en un congelador experimental, que se muestra en la figura 12.

La temperatura dentro del congelador fue de -20 a -25 °C, para la medición de la temperatura se colocaron dos termopares dentro del congelador y tres termopares en tres fresas, dichos termopares fueron colocados como lo muestra la figura 15 [página 53], lo

mismo se le realizó a los brócolis colocándose tres termopares en el tallo en la forma que se muestra en la figura 16 [página 55]. A cada fresa y brócoli se le realizó la gráfica de congelación con respecto al tiempo para de esta manera observar en que zona tardaba más en congelarse, y así en la experimentación colocar un termopar en dicha zona.

ETAPA III.

Actividad 1. Producto fresco.

• FRESA.

Se prepararon tres lotes de veinte muestras cada uno, a todas las muestras se les midió el color, de cada lote se tomó una muestra para medir la textura, a continuación se procedió a congelar el producto.

• BROCOLI.

Después de obtener los cortes de brócoli se dividieron en tres lotes con veinte elementos cada uno, a continuación se midió el color a todas las muestras, para la evaluación de la textura se tomó una muestra al azar de cada lote, el siguiente paso fue escaldar el brócoli.

La medición del color y la textura en toda la experimentación para la fresa y el brócoli se realizó de la siguiente manera:

Medición de color

Para la medición del color se utilizó un colorímetro Minolta [Ver anexo I], en el cual se obtuvo en forma directa la escala CIE con los valores $L^*a^*b^*$, tomando a la luminosidad, croma y tono como medidas de análisis, las ecuaciones para obtener dichos parámetros se muestran a continuación:

$$\text{Croma: } C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (\text{Shewfelt et al., 1993; Minolta, 1994})$$

$$\text{Tono: Brócoli} = \tan^{-1} b^*/a^* \quad (\text{Shewfelt et al., 1993})$$

$$\text{Fresa} = \tan^{-1} a^*/b^* \quad (\text{Livinston, 1959})$$

Las muestras fueron marcadas en una zona con una cinta adhesiva, esto con el fin de evaluar la misma parte del fruto durante toda la experimentación.

Medición de textura.

Para la medición de la textura se realizó una prueba de penetración con un penetrómetro [Ver anexo II]. Se tomaron los diámetros inicial y la disminución con respecto al tiempo, para obtener las gráficas se utilizó la llamada expresión de Cauchy (Muller, 1973):

$$\text{DEFORMACION RELATIVA} = \frac{L}{l}$$

donde L es el diámetro original de la muestra y l es la disminución del diámetro.

Las muestras se colocaron en círculo que se encuentra marcado en la placa del penetrómetro. La presión a la que se sometieron las fresas fue de 1.912 Kg.m/s^2 , mientras que para el brócoli fue de $2,891 \text{ Kg.m/s}^2$, el diámetro del punzón fué de 3.2 mm , el tiempo de la experimentación fue de 10 min , la fuerza aplicada a la muestra permaneció constante durante todo el tiempo que se llevó a cabo la experimentación.

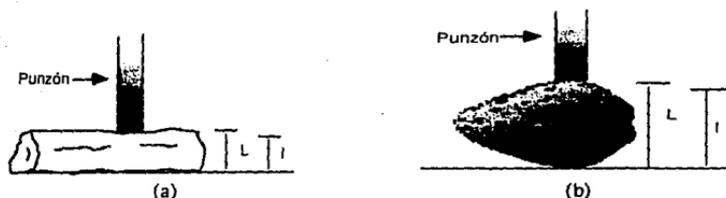


Figura 14. Forma en que fueron colocados a) el brócoli y b) la fresa para la medición de la textura, L representa la forma original y I la disminución del tamaño con respecto al tiempo.

La presión es mayor para el brócoli, ya que a la presión que es sometida la fresa al brócoli no le afecta, es decir no se observaron cambios significativos.

En todos los casos las fresas se colocaron en forma horizontal, buscando que el puntal coincidiera con la parte más ancha del fruto [figura 14a], para el brócoli el punzón se colocó a la mitad del tallo en la parte más ancha [figura 14b].

Actividad 2. Escaldado del brócoli.

El escaldado se realizó en dos etapas como se describe en la página 23. Una vez realizado el escaldado el producto se enfrió rápidamente, dejando caer sobre el una ducha de agua fría, al terminar se realizó la medición del color y la prueba de textura al brócoli.

Variables a controlar:

Temperatura de escaldado.

Tiempo de escaldado.

- Medidas de control.

Para la realización de la carta de control se evaluaron treinta fresas y treinta cortes de brócoli, se tomó a la media del tono [color] como medida de dispersión para definir los límites, las fórmulas empleadas para el cálculo de los límites de control son:

$$\text{Límite inferior} = \bar{X} - A_2 R$$

$$\text{Límite central} = \bar{X}$$

$$\text{Límite superior} = \bar{X} + A_2 R$$

Donde $A_2 = 0.577$ en subgrupos de 5 unidades (según tabla ASTM-STP 15D).

Las muestras que quedaron fuera de los límites fueron eliminadas, se eligieron las veinte muestras que quedaron más cerca de la línea central. Para tener una variación mínima se realizó un análisis de tendencia central y de dispersión.

ETAPA IV.

Actividad 1. Congelación.

La congelación se realizó en el equipo que se muestra en la figura 12, los lotes de veinte muestras se dividieron en dos con diez muestras cada uno, diez elementos se congelaron con exposición directa con el medio de enfriamiento y los otras diez se congelaron cubiertos con un empaque de polietileno.

Las variables son las siguientes:

Variable independiente: Congelación con empaque y sin empaque.

Variable dependiente: Velocidad de congelación.

Al producto congelado no se le midió textura, ya que el producto al estar congelado se encuentra en estado totalmente sólido y pierde sus características de elasticidad .

Actividad 1. 1. Medición del color.

Cuando la fresa y brócoli, alcanzaron la temperatura de -22°C se sacó del congelador y se les midió el color como se describe en la página 47.

Las variables son las siguientes:

Variable independiente: Congelación con empaque y sin empaque.

Variable dependiente: El color.

– Medidas de control.

Con el fin de tener una variación mínima de la medición del color, se realizó una análisis de tendencia central y de dispersión.

Actividad 2. Descongelación.

Para la descongelación cada lote congelado se subdividió en dos lotes de cinco muestras cada uno, un subgrupo se colocó en un envase de polietileno, mientras que el otro se expuso en contacto directo con el agua; los lotes se colocaron en baño María a temperatura de 20°C , el termopar que evaluó las temperaturas durante la congelación se utilizó para evaluar la temperatura de descongelación. Los datos fueron analizados con un estadístico factorial.

Las variables son las siguientes:

Variable independiente: Descongelación con empaque y sin empaque.

Variable dependiente: Velocidad de descongelación.

Actividad 2. 1. Medición del color.

Las muestras fueron sacadas del agua cuando alcanzaron la temperatura de 20 °C. Al descongelarse se tomaron las lecturas de color. El color se evaluó como se describe en la página 47.

Las variables son las siguientes:

Variable independiente: Descongelación con empaque y sin empaque.

Variable dependiente: El color.

Actividad 2. 2. Medición de textura .

De cada lote se tomaron tres muestras al azar para ser evaluada la deformación relativa. La textura se evaluó como se describe en la página 48.

Las variables son las siguientes:

Variable independiente: Descongelación con empaque y sin empaque.

Variable dependiente: La textura.

– Medidas de control.

Se realizó un análisis estadístico factorial de 2 X 2, al color y la textura. Así se realizó una matriz factorial total que consiste en 4 condiciones experimentales y se tabularon para un mejor análisis de los resultados. Para lo cual se planteó la siguiente:

Hipótesis nula

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

Hipótesis alterna

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

en donde μ_1 es el efecto de la congelación y μ_2 es el efecto de la descongelación. La hipótesis alterna es bilateral ya que puede ser verdadera si $\mu_1 < \mu_2$, o bien $\mu_1 > \mu_2$

a) Se acepta H_0 cuando $F. C. < F$ teórica, es decir, no existen diferencias significativas entre las muestras a un nivel significativo (α)

b) Se rechaza H_0 si $F. C. > F$ teórica, por lo que se dice que existen diferencias significativas entre las muestras al nivel significativo dado.

Niveles de significancia: $\alpha = 0.05$ para todas las pruebas.

Variables de respuesta a estudiar para color Tono, Luminosidad y Croma.

Variable de respuesta a estudiar para textura Deformación relativa.

Cuando existen diferencias significativas entre los tratamientos en donde se discierne en la variable de respuesta, se aplica la prueba de intervalos múltiples de Duncan (1955). Es

un procedimiento basado para comparar las parejas de medias de la prueba, a los promedios de los tratamientos se les determina el error estándar en cada promedio usando

$$S_{\bar{y}_i} = \sqrt{\frac{MS_E}{n}}$$

endonde MS_E se denomina media de cuadrados y n número de observaciones.

A partir de la tabla de intervalos significativos de Duncan se obtienen los valores de $r_\alpha(p, f)$, para $p = 2, 3, \dots, a$, endonde α es el nivel de significación y f es el número de grados de libertad del error. Estos intervalos deben transformarse en un conjunto de $a - 1$ mínimo de intervalos significativos (es decir, R_p) para $p = 2, 3, \dots, a$, calculado (Montgomery, 1991).

$$R_p = r_\alpha(p, f) S_{\bar{y}_i} \text{ para } p = 2, 3, \dots, a$$

Capítulo 3

Análisis y discusión de resultados.

3. 1. Validación de termopares.

Los termopares que tienen una mejor linealidad [R] son el 5 y 6; los termopares que presentaron menos dispersión [C.V.] en el histograma son los termopares 3 y 6; por último los mismos termopares presentan una mayor exactitud [S], por lo que se puede observar que el termopar que cumple con todos los requisitos adecuados es el 6, es por esto que se toma a éste como el termopar patrón.

TERMOPAR	X	S	C.V.	R
1	-2.87	0.35	-12.06	0.99754
2	-3.23	0.43	-13.30	0.99681
3	-2.00	0.0	0.0	0.99796
4	-3.47	0.51	-14.64	0.99843
5	-2.40	0.56	-23.47	0.99874
6	-2.00	0.0	0.0	0.99895
7	-1.93	0.25	-13.12	0.99589
8	-1.17	0.38	-32.44	0.99742
9	-2.23	0.43	-19.26	0.99725

Cuadro 10. Resultados obtenidos en la validación de los termopares.

Con base al termopar patrón se realizaron las correcciones a los demás termopares, con el fin de tener mediciones de temperatura confiables.

3. 2. Centro térmico.

Después de ser validados los termopares se continuó con la determinación del centro térmico en fresa y brócoli.

- FRESA.

La fresa tiene una forma irregular, apartir de esto se dividió en tres ejes, esto se realizó porque la trasferencia de calor se realiza en las tres direcciones al no tener ninguna parte cubierta la fresa. La figura 15 muestra la forma en que se dividió a la fresa y se colocaron los termopares para la obtención del centro térmico.

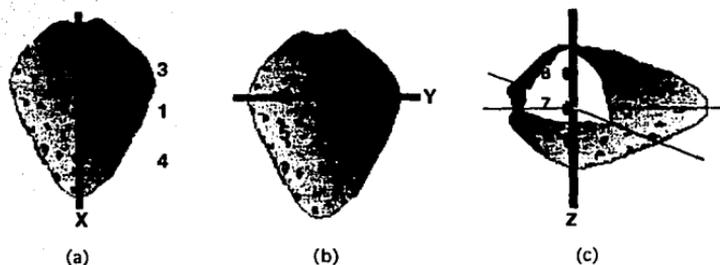
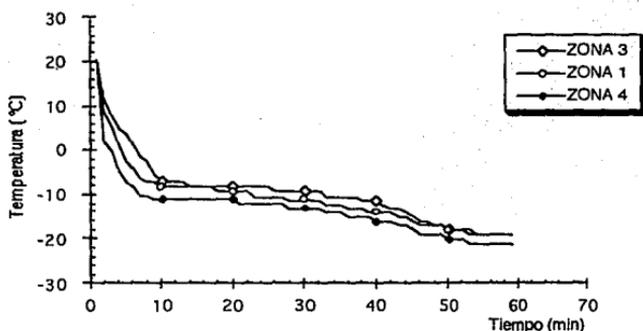


Figura 15. Zonas donde fueron colocados los termopares para el estudio del centro térmico en la fresa.

A continuación se muestran las historias térmicas de las zonas en donde se colocaron los termopares.

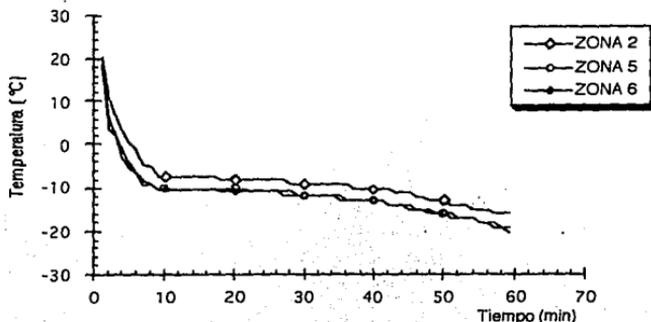


Gráfica 11. Historia térmica de las zonas en donde se colocaron los termopares de la figura 15a, las condiciones promedio fueron, temperatura de -21.5°C y velocidad del aire de 3.6 m/s .

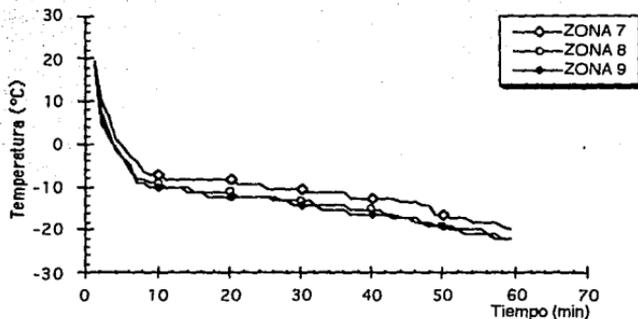
Como se puede observar en la gráfica la zona 3 es donde se enfría más lentamente, si observamos la figura 15, la zona 3 es el que está más cerca del centro geométrico, mientras que la zona 1 es la que le sigue en cuanto a disminución de temperatura, y la zona 4 es la que se enfría más rápidamente debido a que se encuentra en un extremo angosto de la fresa, esto provoca la pérdida de calor más rápidamente.

En la siguiente gráfica se observa que el termopar que se encuentra en la zona 2 es el que

tarda más en enfriarse mientras que los termopares que se encuentran en las zonas 5 y 6 disminuyen su temperatura casi en paralelo, esto se puede deber a que los extremos de la fresa son más homogéneos que la parte superior e inferior. Por lo que podemos decir que el punto más frío es la parte central [zona 2].



Gráfica 12. Historia térmica de las zonas en donde se colocaron los termopares de la figura 15b, las condiciones promedio fueron, temperatura de -21.5°C y velocidad del aire de 3.6 m/s .



Gráfica 13. Historia térmica de las zonas en donde se colocaron los termopares de la figura 15c, las condiciones promedio fueron, temperatura de -22.5°C y velocidad del aire de 3.6 m/s .

En la gráfica 13 se observa que la zona que tarda más en disminuir su temperatura es la zona 7, mientras que los termopares que se encuentran en la zona 8 y 9 tienen su temperatura más baja, como se observa en la figura 15, estas zonas se encuentran cerca del

medio de congelación, y el termopar 7 se encuentra de igual manera que el termopar de la zona 2 y el termopar que se encuentra en la zona 3. Por lo que podemos concluir que el centro geométrico éste se encuentra en el diámetro mayor de la fresa, ya que es la parte que más tarda en enfriarse.

En el resto de la experimentación en cada prueba se colocaron a tres fresas un termopar a cada una en el centro térmico para llegar a la temperatura de -20 a -24 °C. Dicho rango fue elegido ya que esta temperatura es usual encontrarla en congeladores comerciales antes de llegar el producto a los consumidores (Martí y Aguilera, 1991).

BROCOLI.

Al brócoli se consideró un cilindro infinito no uniforme por lo que se congelaría más rápido por el radio que por la longitud, por lo que se optó por colocar los termopares en la parte central del tallo tomando tres radios como se muestran en la figura 16, debido a que tardaría más en congelarse la parte más larga, pero no sabemos a que altura del tallo.

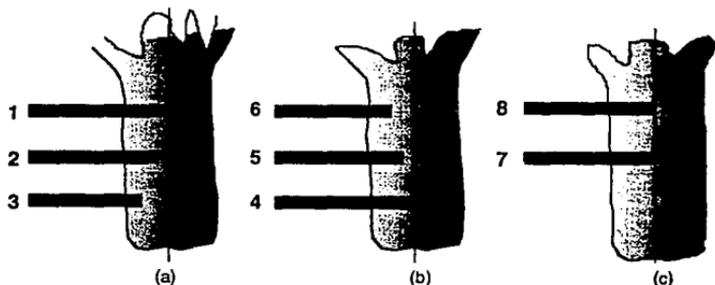
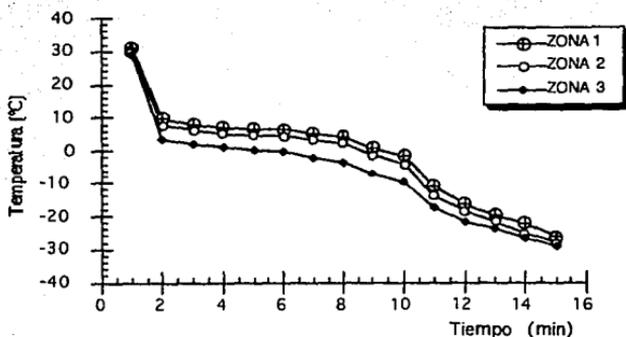


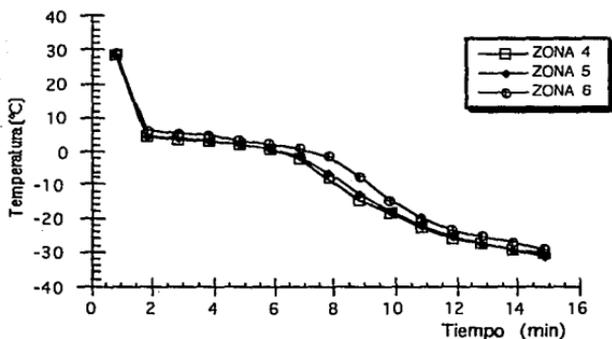
Figura 16. Zonas en donde fueron colocados los termopares para el estudio del centro térmico en el brócoli.

Para el análisis del centro térmico se muestra las siguientes historias térmicas obtenidas.

Como se puede observar en la gráfica la zona 1 es la que más tarda en disminuir su temperatura, mientras la zona 2 es la segunda más fría y la zona 3 es la que se enfría más rápidamente, y si observamos la figura 16, los dos últimos termopares se encuentran localizados en las zonas cerca del medio ambiente, como se puede observar el punto que se encuentra cerca del florete es el punto que más tarda en congelarse, por esto se propusieron los arreglos b y c para verificar lo antes mencionado.

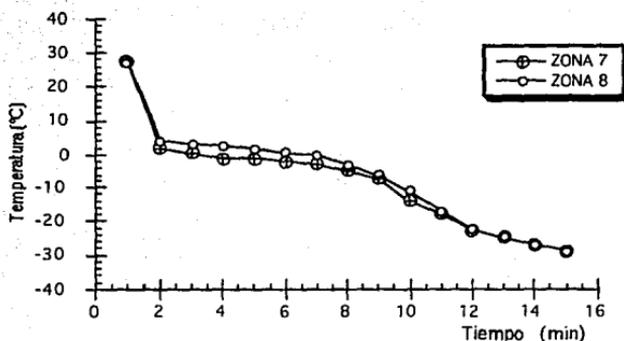


Gráfica 14. Historia térmica de las zonas en donde se colocaron los termopares de la figura 16a, las condiciones promedio fueron, temperatura de -24.5°C , velocidad del aire de 3.6 m/s .



Gráfica 15. Historia térmica de las zonas en donde se colocaron los termopares de la figura 16b, las condiciones promedio fueron, temperatura de -24.5°C , velocidad del aire de 3.6 m/s .

Se puede apreciar en la gráfica que la zona 4 y la zona 5 disminuye la temperatura más rápidamente, y la zona 6 tiene la temperatura más elevada pero en pequeña proporción, y si consideramos que se encuentra cerca del medio ambiente la temperatura es hasta ahora la zona que más tarda en disminuir su temperatura, esto nos lleva a proponer el último arreglo de los termopares mostrados en la gráfica 16.



Gráfica 16. Historia térmica de las zonas en donde se colocaron los termopares de la figura 16c, las condiciones promedio fueron, temperatura de -24.5°C , velocidad del aire de 3.6 m/s .

Como se puede observar la zona 8 es la que tarda más en disminuir su temperatura, si observamos la ubicación del termopar en el tallo del brócoli coincide con la parte cercana al inicio del florete, de aquí concluimos que el centro térmico del producto se encuentra cerca del florete [aproximadamente 1 cm], por lo que el resto de la experimentación en cada prueba se colocaron a tres tallos un termopar en dicho lugar, para medir la temperatura hasta llegar de -20 a -24°C .

3. 3. Fresa

3. 3. 1. Medición de color.

El análisis de la velocidad de congelación y descongelación se realizó tomando como base los datos obtenidos de la materia prima [ver Anexo III], se tomó como parámetro el tono rojo obtenido de Minolta, el valor es el siguiente: rojo $\approx 3.54 >$ púrpura

$$\approx 3.54 < \text{naranja}$$

a continuación se muestran las tablas de resultados:

A) FRESA FRESCA.

VARIABLE	LUMINOSIDAD	CROMA	TONO
Mínimo:	35,03	34,97	2,23
Rango:	6,94	2,90	3,33
Máximo:	41,97	37,87	5,56
Mediana:	37,85	36,08	4,14
Media:	37,32	36,23	4,08
Error estándar:	0,33	0,014	0,16
Varianza:	3,88	0,75	0,87
Desviación estándar:	1,97	0,87	0,93
Coefficiente de Variación:	5,47	2,41	2,58

Cuadro 11. Análisis estadístico del color en fresa fresca.

El análisis nos muestra en promedio que las muestras en estado fresco presentan un rojo púrpura con una luminosidad baja, por lo que podemos considerar que el producto es opaco o "apagado".

que la maduración de los frutos no es homogénea, además el manipuleo y la tenencia en el centro de distribución y la temperatura del mismo, provocan variaciones en las antocianidas, ya que se forman compuestos más pardos que son más estables en estas condiciones, éstas variaciones se ven reflejadas en la claridad del producto (Pattee, 1985).

B) FRESA CONGELADA.

En la congelación indirecta la luminosidad, el croma y el tono aumentan con respecto al producto fresco, produciendo un rojo más púrpura con mayor claridad, y en la congelación directa el tono y el croma aumenta, mientras que la luminosidad disminuye, por lo que los productos obtenidos en la congelación indirecta son con un rojo más púrpuras con menor claridad, son productos más "apagados". Las variaciones se deben a que en la congelación directa el producto está en contacto con el medio de congelación, que es CO₂, el cual es un gas

(Madrid *et al.*, 1991; Yahia *et al.*, 1992), evitándose un oscurecimiento del producto.

VARIABLE	LUMINOSIDAD	CROMA	TONO
Mínimo:	39,79	39,47	3,45
Rango:	3,23	3,49	2,18
Máximo:	43,02	42,96	5,63
Mediana:	41,21	41,49	4,16
Media:	41,18	41,33	4,20
Error estándar:	0,23	0,29	0,12
Varianza:	0,96	1,53	0,26
Desviación estándar:	0,98	1,24	0,51
Coefficiente de Variación:	5,44	6,88	2,83

Cuadro 12. Análisis estadístico del color en fresa congelada directamente.

VARIABLE	LUMINOSIDAD	CROMA	TONO
Mínimo:	32,85	40,21	3,35
Rango:	3,73	3,34	2,20
Máximo:	36,58	43,55	5,54
Mediana:	35,40	42,29	4,21
Media:	35,08	41,92	4,34
Error estándar:	0,25	0,28	0,16
Varianza:	1,16	1,42	0,45
Desviación estándar:	1,08	1,19	0,67
Coefficiente de Variación:	6,00	6,61	3,72

Cuadro 13. Análisis estadístico del color en fresa congelada indirectamente.

Por lo que respecta al cromata, éste sufre una pequeña variación produciendo un color más "puro" en la congelación indirecta que en la congelación directa.

C) FRESA DESCONGELADA.

En la descongelación directa se acentúa el color rojo púrpura, aumenta la pureza y la claridad del producto, mientras que en la descongelación indirecta aumentan pero no en la misma proporción que en el proceso antes mencionado, la disminución del color en el producto descongelado indirectamente se debe a que al ser la descongelación lenta se tiene un daño estructural mayor, por lo que hay un mayor exudado que en la descongelación directa, provocando una disminución de componentes que dan el color a las fresas, las antocianinas, mientras que en la descongelación directa al no ser el daño estructural tan severo se conservan más los componentes antocianinicos, pero sufren cambios químicos

transformandose las antocianias en compuestos café rojizos dando como resultado un color más intenso.

VARIABLE	LUMINOSIDAD	CROMA	TONO
Mínimo:	36.06	34.49	4.02
Rango:	2.88	2.99	1.79
Máximo:	38.94	37.48	5.81
Mediana:	37.43	35.99	4.93
Media:	37.40	35.88	4.86
Error estándar:	0.21	0.24	0.14
Varianza:	0.80	1.03	0.35
Desviación estándar:	0.89	1.01	0.60
Coefficiente de Variación:	4.94	5.61	3.33

Cuadro 14. Análisis estadístico del color en fresa descongelada directamente.

VARIABLE	LUMINOSIDAD	CROMA	TONO
Mínimo:	34.60	33.63	3.19
Rango:	2.82	2.82	2.24
Máximo:	37.42	36.45	5.42
Mediana:	35.47	35.15	4.49
Media:	35.79	35.04	4.51
Error estándar:	0.22	0.21	0.16
Varianza:	0.89	0.79	0.45
Desviación estándar:	0.94	0.89	0.67
Coefficiente de Variación:	5.22	4.94	3.72

Cuadro 15. Análisis estadístico del color en fresa descongelada indirectamente.

D) ANALISIS FACTORIAL.

Para poder observar mejor cuál es el proceso que más afecta al producto se realizó un análisis factorial de dos variables de 2 X 2, las variables son la congelación y la descongelación.

Las hipótesis propuestas para probar son las siguientes:

Hipótesis nula

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

Hipótesis alterna

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

en donde μ_1 es el efecto de la congelación, mientras que μ_2 es el efecto de la descongelación sobre el tono, la luminosidad, el cromá. La hipótesis alterna es bilateral, ya que, puede ser verdadera si $\mu_1 < \mu_2$ o bien $\mu_1 > \mu_2$. Los resultados se muestran en los cuadros 16, 17 y 18.

Cuadro 16. Análisis estadístico de la luminosidad.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grad. de Libertad	Media de Cuadrados	F _o
Efectos Principales				
Congelación	16,91	1	16,91	0,27
Descongelación	22,15	1	22,15	0,35
Interacción	14,57	1	14,57	0,23
Error	1986,98	32	62,09	
Total	2040,51	35		

para $\alpha = 0.05$ $F_i = 4.26$

Al final de toda la experimentación se observa que no hay cambios significativos en la luminosidad, es decir el proceso congelación-descongelación con empaque y sin empaque no afecta a la claridad o al claro-oscuro del color, la brillantez del producto no se ve afectada por uno u otro método, por lo que ésta permanece en el producto dando una apariencia «fresca» al producto.

Cuadro 17. Análisis estadístico del cromá.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grad. de Libertad	Media de Cuadrados	F _o
Efectos Principales				
Congelación	6,29	1	6,29	0,82
Descongelación	3,12	1	3,12	0,40
Interacción	30,06	1	30,06	3,91
Error	244,13	32	7,62	
Total	283,61	35		

para $\alpha = 0.05$ $F_i = 4.26$

Los resultados muestran que no hay efectos sobre el cromá, es decir que la «pureza» del color no tiene cambios importantes en la congelación y la descongelación, aunque se observa tal forma que no es apreciable el efecto en su calidad, pero podemos decir que la combinación de la congelación y la descongelación afectan en una proporción menor la pureza del color, pudiendose observar en algunas muestras.

Cuadro 18. Análisis estadístico del tono.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grad. de Libertad	Media de Cuadrados	F _o
Efectos Principales				
Congelación	1,02	1	1,01	2,77
Descongelación	1,25	1	1,25	3,42
Interacción	1,78	1	1,78	4,86
Error	11,82	32	0,36	
Total	15,77	35		

para $\alpha = 0.05$ $F_1 = 4.26$

El tono se ve afectado más en la interacción. Para apreciar con mayor claridad el efecto de la congelación y la descongelación sobre el producto se realizó la prueba de intervalos múltiples de Duncan.

Se toman los promedios de cada lote y se colocan en orden ascendente

$\bar{Y}_2 = 4.1571$ Congelación directa descongelación indirecta.

$\bar{Y}_3 = 4.8655$ Congelación indirecta descongelación directa.

$\bar{Y}_4 = 4.9370$ Congelación indirecta descongelación indirecta.

$\bar{Y}_1 = 4.9745$ Congelación directa descongelación directa.

El error estándar de estos promedios de tratamientos es:

$$S_{\bar{y}_i} = \sqrt{\frac{MSE}{n}} = \sqrt{\frac{0.3655}{9}} = 0.20152$$

Usando la tabla de intervalos significativos de Duncan, para 32 grados de libertad y $\alpha = 0.05$ se obtienen los valores $r_{0.05}(2, 32) \approx 2.884$, $r_{0.05}(3, 32) \approx 3.034$ y de $r_{0.05}(4, 32) \approx 3.116$. Los intervalos mínimos significativos son:

$$R_2 = r_{0.05}(2, 32) S_{\bar{y}_i} = (2.884)(0.2015) = 0.5811$$

$$R_3 = r_{0.05}(3, 32) S_{\bar{y}_i} = (3.034)(0.2015) = 0.6113$$

$$R_4 = r_{0.05}(4, 32) S_{\bar{y}_i} = (3.116)(0.2015) = 0.6279$$

y las comparaciones obtenidas son:

$$1 \text{ vs. } 2 = 4.9745 - 4.1571 = 0.8174 > 0.6279$$

$$1 \text{ vs. } 3 = 4.9745 - 4.8655 = 0.1090 < 0.6113$$

$$1 \text{ vs. } 4 = 4.9745 - 4.9370 = 0.0375 < 0.5811$$

$$4 \text{ vs. } 2 = 4.9370 - 4.1571 = 0.7799 > 0.6113$$

$$4 \text{ vs. } 3 = 4.9370 - 4.8655 = 0.0715 < 0.5811$$

$$3 \text{ vs. } 2 = 4.8655 - 4.1571 = 0.7084 > 0.5811$$

Se observa que todos los intervalos en donde existen diferencias significativas se encuentra \bar{Y}_2 , la cual corresponde a la congelación directa con descongelación indirecta, esto nos indica que la aplicación de estos dos métodos afectan más al tono de los frutos, aunque se puede observar a lo largo de todo el análisis que el factor que más influye es la descongelación indirecta, pues es ésta la que provoca un mayor vire en el tono del producto.

E) ANALISIS GENERAL.

Los procesos en los cuales se muestra un mayor cambio en el color del producto son en la congelación indirecta y la descongelación indirecta, aunque en el análisis factorial el efecto se observa en la congelación directa, sin embargo la bibliografía reporta beneficios en el color, es decir los cambios son mínimos en atmósferas con CO₂, por lo que se descarta que exista un mayor efecto durante la congelación directa.

La luminosidad aumenta en la congelación directa y disminuye en la congelación indirecta, mientras que en la descongelación directa su valor se iguala al producto original y en la descongelación indirecta tiene una disminución.

Croma. El croma aumenta durante la congelación directa cambiando aún más en la congelación indirecta, mientras que en la descongelación disminuye observándose más este cambio en la descongelación indirecta.

Tono. El tono se ve aumentado más en cada uno de los procesos en la congelación indirecta aumenta más que en la descongelación directa y aumenta más en la descongelación directa que la descongelación indirecta.

Esto nos lleva a concluir que en la congelación directa el CO₂ ayuda a que el producto sufra un menor oscurecimiento del producto, además de ayudar también a la claridad del producto, en la descongelación indirecta al estar en contacto con el agua se disuelven con el agua pigmentos y otros componentes produciendo de esta manera una disminución en el tono.

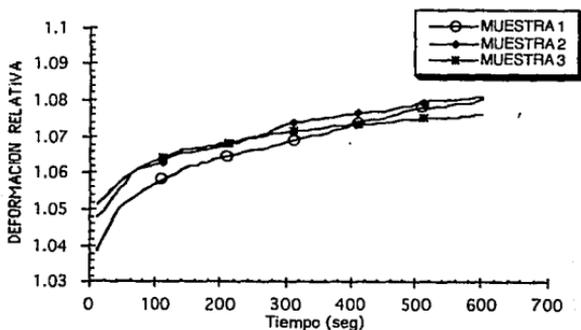
Ahora bien, podemos decir que la hipótesis nula no es aceptada y es válida la hipótesis alterna, donde el efecto de la congelación es mayor sobre la descongelación, siendo el tono el que más es afectado.

3. 3. 2. Medición de textura.

Para la evaluación de la textura se analiza la deformación relativa del producto, durante la experimentación se mantuvo constante la temperatura del producto [22 a 25 °C]. Otros factores que se mantuvieron constantes fueron la fuerza de penetración y el área de contacto. Todas las muestras fueron elegidas al azar.

A) FRESA FRESCA.

En la siguiente gráfica se observa la deformación del producto en estado fresco, el tiempo de exposición del producto es de 600 seg. [10 min], durante el cual no hay ruptura de la pared celular. Analizando las gráficas de la deformación relativa de cada producto se puede observar que existe una pequeña variación entre las muestras, el cambio de una muestra a otra obedece a varios factores entre ellos podemos mencionar, el estado de madurez del fruto, el manipuleo, la temperatura de exposición en centro de distribución, etcétera. Sin embargo, se puede observar la tendencia de la curva, en donde conforme pasa el tiempo va disminuyendo la deformación del producto.

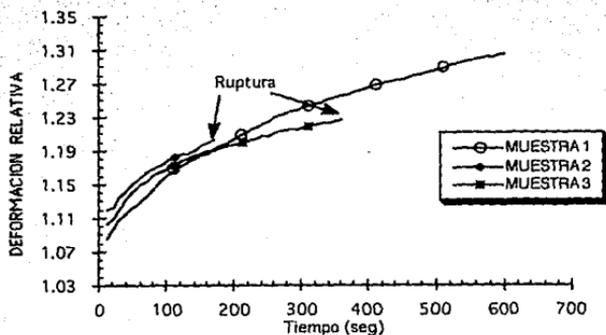


Gráfica 17. Deformación relativa en fresas frescas.

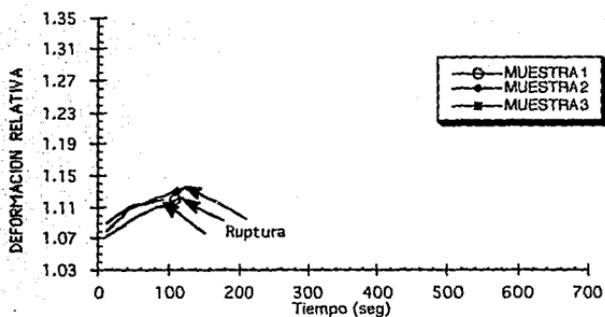
B) FRESA DESCONGELADA.

En el proceso que describe la gráfica 18 se observa una deformación mayor con respecto al producto fresco, y sólo una muestra resiste los 600 seg. que resiste el producto fresco, la resistencia oscila entre 360 y 460 seg, esto se debe a que el efecto de la congelación y la descongelación afecta a la estructura interna del producto, afectando por ende a la textura del producto, por lo que los tejidos no pudieron resistir la fuerza provocándose la ruptura de la epidermis antes del tiempo preestablecido. Sin embargo, la muestra que resistió todo el tiempo la fuerza tiene una deformación mayor.

En la gráfica 19 el daño que sufre la textura del fruto se ve reflejado, en donde los frutos no resisten más que de 120 seg. La textura del fruto cede más fácilmente que en la congelación directa con descongelación directa.

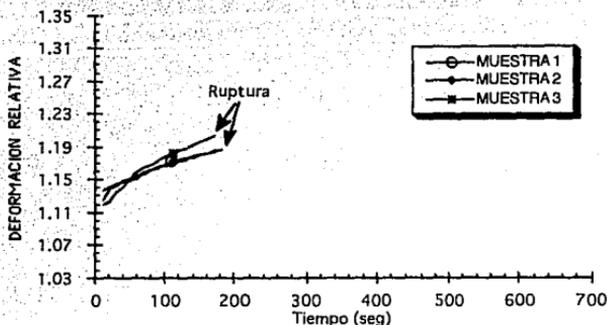


Gráfica 18. Deformación relativa en fresas congeladas directamente y descongeladas directamente.



Gráfica 19. Deformación relativa en fresas congeladas directamente descongeladas indirectamente.

En la siguiente gráfica se observa un incremento en la resistencia de la textura del fruto, pero las muestras se rompen entre los 180 y 200 segundos, por lo que podemos decir que el daño en el producto es severo con respecto al producto fresco, aunque menor que en la congelación directa con descongelación indirecta.



Gráfica 20. Deformación relativa en fresas congeladas indirectamente descongeladas directamente.

Para los productos congelados indirectamente y descongelados indirectamente el daño estructural es mayor, ya que las muestras sólo resistieron entre 2 y 6 seg. sufriendo la ruptura de epidermis, por lo que no se logró obtener gráfica de la experimentación. El análisis estadístico propuesto no fue posible realizarlo debido a que los frutos no tienen un tiempo de resistencia homogéneo en cada prueba, por lo que los datos no pudieron ser tratados.

B) ANALISIS GENERAL

Comparando los procesos con el producto fresco, los frutos que presentan una mejor textura después de la experimentación son los sometidos a una congelación directa, mientras que en la congelación indirecta afecta en mayor medida a la textura. La descongelación indirecta también afecta la textura del producto, esto lo observamos porque en los procesos de descongelación indirecta la textura del producto resiste un menor tiempo la fuerza aplicada, esto se puede observar al analizar la gráfica de la descongelación indirecta en donde el producto resiste muy poco la fuerza del punzón.

Para la textura la hipótesis aceptada es la alterna, ya que en cuanto a la descongelación que más afecta al producto es la indirecta, la que produce severos daños al tejido llegando incluso a romper la epidermis de una manera casi instantánea al aplicar la fuerza, como sucede en la congelación indirecta y descongelación indirecta.

3. 4. Brócoli.

3. 4. 1. Medición de color.

El análisis del efecto de la velocidad de congelación y descongelación en el brócoli se realizó con los datos que se muestran en el Anexo IV, se tomó como parámetro el tono verde obtenido de Minolta, en donde: verde \approx -1.6857 > verde amarillo

verde \approx -1.6857 < verde azulado

a continuación se muestran las tablas de resultados:

A) BROCOLI FRESCO

VARIABLE	LUMINOSIDAD	CROMA	TONO
Mínimo:	32,77	14,00	-14,30
Rango:	6,91	3,94	5,00
Máximo:	39,68	17,97	-9,30
Mediana:	37,33	15,30	-11,35
Media:	37,21	14,58	-11,56
Error estándar:	0,29	0,21	0,31
Varianza:	3,04	1,55	3,48
Desviación estándar:	1,74	1,25	1,86
Coefficiente de Variación:	4,83	3,47	5,16

Cuadro 19. Análisis estadístico del color en brócoli fresco.

En la primera parte de la experimentación el producto fresco presentó un verde amarillento oscuro, esto se debe principalmente a que el tono se acerca a la zona del amarillo, pero tiene una claridad baja de igual forma la intensidad del color.

Los tonos de verde pueden variar por la temperatura y los rayos solares, ya que la clorofila es muy sensible a temperaturas elevadas y se producen cambios a feofitina, esto provoca cambios en el color (Gross, 1987).

B) BROCOLI ESCALDADO

VARIABLE	LUMINOSIDAD	CROMA	TONO
Mínimo:	28,66	29,07	-8,55
Rango:	5,17	6,54	3,66
Máximo:	33,85	35,61	-4,89
Mediana:	30,88	32,28	-5,81
Media:	30,59	32,68	-6,13
Error estándar:	0,25	0,30	0,17
Varianza:	2,27	3,23	0,98
Desviación estándar:	1,51	1,80	0,99
Coefficiente de Variación:	4,86	4,86	2,74

Cuadro 20. Análisis estadístico del color en brócoli escaldado.

En el escaldado se observa que disminuye la luminosidad, el croma aumenta y el tono disminuye acercándose el tono a los verdes azulados, por lo que el producto presenta una agradable apariencia, el principal factor para tener este color verde, es la adición de bicarbonato de sodio que ayuda a fijar las paredes celulares evitando así la pérdida de colorantes, sin embargo no se puede evitar la pérdida de algunos componentes como vitaminas y ácido ascórbico, además de que tiene lugar una transformación parcial de clorofila a feofitina (Herrman, 1977). Este cambio ocurre cuando el ión Mg^{++} es sustituido por el ión H^+ .

C) BROCOLI CONGELADO.

VARIABLE	LUMINOSIDAD	CROMA	TONO
Mínimo:	27,17	14,98	-12,96
Rango:	5,29	3,47	3,93
Máximo:	32,46	18,45	-9,03
Mediana:	29,70	16,35	-11,75
Media:	29,75	16,70	-11,55
Error estándar:	0,31	0,26	0,26
Varianza:	1,70	1,19	1,18
Desviación estándar:	1,30	1,09	1,09
Coefficiente de Variación:	7,24	6,06	6,06

Cuadro 21. Análisis estadístico del color en brócoli congelado directamente.

VARIABLE	LUMINOSIDAD	CROMA	TONO
Mínimo:	25,20	23,20	-10,49
Rango:	4,64	3,97	3,15
Máximo:	29,84	27,17	-7,35
Mediana:	27,33	23,94	-9,16
Media:	27,50	24,86	-9,12
Error estándar:	0,38	0,35	0,21
Varianza:	2,54	2,16	0,82
Desviación estándar:	1,59	1,47	0,91
Coefficiente de Variación:	8,83	8,16	5,05

Cuadro 22. Análisis estadístico del color en brócoli congelado indirectamente.

Durante la congelación el cambio de la clorofila se acentúa más, principalmente en la congelación directa en donde el tono y el croma aumentan mostrando un verde amarillento mientras que en la congelación indirecta el tono vira hacia el verde azulado, además de que es más puro éste último que el anterior, esto nos indica que se siguen produciendo cambios de clorofila a feofitina en la congelación directa, mientras que la luminosidad del color se mantiene constante comparado con el producto escaldado, pero disminuye considerablemente comparado con el producto en fresco.

D) BROCOLI DESCONGELADO.

VARIABLE	LUMINOSIDAD	CROMA	TONO
Mínimo:	29,58	29,31	-9,40
Rango:	4,28	3,41	3,87
Máximo:	33,86	32,72	-5,52
Mediana:	31,71	30,88	-6,43
Media:	31,73	30,92	-6,68
Error estándar:	0,25	0,25	0,23
Varianza:	1,14	1,10	0,97
Desviación estándar:	1,07	1,05	0,98
Coficiente de Variación:	3,36	5,83	5,47

Cuadro 23. Análisis estadístico del color en brócoli descongelado directamente.

VARIABLE	LUMINOSIDAD	CROMA	TONO
Mínimo:	30,24	31,64	-8,41
Rango:	4,31	3,50	2,90
Máximo:	34,55	35,14	-5,51
Mediana:	33,43	33,83	-7,24
Media:	32,99	33,63	-7,18
Error estándar:	0,30	0,26	0,23
Varianza:	1,58	1,21	0,91
Desviación estándar:	1,26	1,10	0,95
Coficiente de Variación:	6,98	6,11	5,29

Cuadro 24. Análisis estadístico del color en brócoli descongelado indirectamente.

Los cambios que se observan en la descongelación muestran que en la descongelación directa el producto se acerca más al tono verde azulado con una baja pureza y luminosidad, mientras que en la descongelación indirecta el tono tiende más hacia los verdes amarillentos con una mayor pureza y luminosidad, esto se debe a que el producto descongelado indirectamente se expone por un periodo más largo de tiempo a la temperatura de descongelación, produciéndose un verde con mayor claridad (Herrman, 1977). Los tonos de verde que se encuentran en el brócoli descongelado indirectamente se deben a que los almidones en el escaldado se coagulan, en la congelación los tejidos son dañados al congelarse el agua intracelular y después al realizar una descongelación lenta las paredes celulares terminan por romperse y realizar cambios de clorofila a feofitina, sustituyendo al magnesio como átomo central por hidrógeno afectando de esta forma el color.

E) ANALISIS FACTORIAL.

La determinación experimental del Tono, luminosidad y croma fue analizada por el método factorial de dos variables de 2×2 , las variables son la congelación y la descongelación.

Las hipótesis a probar son las siguientes:

$$\begin{aligned} &\text{Hipótesis nula} \\ &H_0 : \mu_1 = \mu_2 \\ &\text{Hipótesis alterna} \\ &H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \end{aligned}$$

en donde μ_1 es el efecto de la congelación, mientras que μ_2 es el efecto de la descongelación sobre el tono, la luminosidad, el croma. La hipótesis alterna es bilateral, ya que, puede ser verdadera si $\mu_1 < \mu_2$ o bien $\mu_1 > \mu_2$.

Cuadro 25. Análisis estadístico de la luminosidad.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grad. de Libertad	Media de Cuadrados	F _o
Efectos Principales				
Congelación	21,56	1	21,56	0,33
Descongelación	75,67	1	75,67	1,17
Interacción	5,15	1	5,15	0,08
Error	2060,38	32	64,38	
Total	2162,76	35		

para $\alpha = 0,05$ $F_{I=4,26}$

La luminosidad del producto no sufre efectos graves que pudieran afectar a la calidad del producto, por lo que el claro del color se mantiene constante. Aunque existe una pequeña variación de la luminosidad esto nos indica que es la descongelación la que afecta más a esta medida.

Cuadro 26. Análisis estadístico del croma.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grad. de Libertad	Media de Cuadrados	F _o
Efectos Principales				
Congelación	1,05	1	1,05	0,29
Descongelación	42,12	1	42,12	11,87
Interacción	96,36	1	96,37	27,17
Error	113,49	32	3,55	
Total	253,03	35		

para $\alpha = 0,05$ $F_{I=4,26}$

Como se ha venido observando a lo largo del análisis estadístico, el croma es la medida que más se ve afectada, y se puede observar en el cuadro 26, que sigue sufriendo cambios y más en la descongelación del producto, por lo que se realizó la prueba de intervalos múltiples de Duncan [después del cuadro 27], para así de esta forma determinar en qué operación sufre más daño el producto.

Cuadro 27. Análisis estadístico del tono.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grad. de Libertad	Media de Cuadrados	F _o
Efectos Principales				
Congelación	0,003	1	0,003	0,01
Descongelación	0,99	1	0,99	3,70
Interacción	0,07	1	0,07	0,27
Error	8,58	32	0,26	
Total	9,66	35		

para $\alpha = 0.05$ $F_{1,32} = 4.26$

Aunque el tono se ve afectado en la descongelación el cambio no es significativo, el color no cambia de manera que pudiera afectar a la calidad del producto, pero si observamos bien, el cambio se realiza también en la descongelación por lo que es en este proceso donde existe una mayor efecto sobre el color del brócoli.

El análisis estadístico del cuadro 26, muestra que hay diferencia significativa en la interacción por lo que se realizó el análisis de Duncan, para así determinar en que operación sufre más daño el producto.

- $\bar{Y}_1 = 29.2123$ Congelación directa descongelación directa.
 $\bar{Y}_4 = 31.7188$ Congelación indirecta descongelación indirecta
 $\bar{Y}_3 = 32.8277$ Congelación indirecta descongelación directa.
 $\bar{Y}_2 = 34.6488$ Congelación directa descongelación indirecta.

El error estándar de estos promedios de tratamientos es:

$$S_{\bar{y}_i} = \sqrt{\frac{MS_E}{n}} = \sqrt{\frac{3.5465}{9}} = 0.62773$$

Usando la tabla de intervalos significativos de Duncan, se obtienen los valores de r.o.s (2,32) ≈ 2.884 , r.o.s (3,32) ≈ 3.034 y de r.o.s (4,32) ≈ 3.116 . Los intervalos mínimos significativos son:

$$R_2 = r_{0.05} (2, 32) S_{\bar{y}_i} = (2.884)(0.6277) = 1.8103$$

$$R_3 = r_{0.05} (3, 32) S_{\bar{y}_i} = (3.034)(0.6277) = 1.9045$$

$$R_4 = r_{0.05} (4, 32) S_{\bar{y}_i} = (3.116)(0.6277) = 1.9560$$

y las comparaciones obtenidas son:

$$2 \text{ vs. } 1 = 34.6488 - 29.2123 = 5.4365 > 1.9560$$

$$2 \text{ vs. } 4 = 34.6488 - 31.7188 = 2.9300 > 1.9045$$

$$2 \text{ vs. } 3 = 34.6488 - 32.8277 = 1.8211 > 1.8103$$

$$3 \text{ vs. } 1 = 32.8277 - 29.2123 = 3.6154 > 1.9045$$

$$3 \text{ vs. } 4 = 32.8277 - 31.7188 = 1.1089 < 1.8103$$

$$4 \text{ vs. } 1 = 31.7188 - 29.2123 = 2.5065 > 1.8103$$

El análisis muestra que existen diferencias significativas entre todas las parejas de medias, excepto en la 3 y 4, estos puntos corresponden a la congelación indirecta con descongelación directa e indirecta, según el análisis se muestra un menor efecto en estos procesos en el croma del producto, el efecto se ve reflejado en que en la congelación indirecta el color verde no se aclara y en la descongelación permanecen casi del mismo color.

F) ANALISIS GENERAL

Al realizarse el escaldado el brócoli adquiere un tono más agradable de verde, esto se debe a efectos del bicarbonato de sodio que ayuda a la retención del color verde, pues el bicarbonato se combina con las pectinas formando complejos de pectato sódico (Fellows, 1994). Sin embargo, aunque ayuda a conservar un color agradable durante la congelación disminuye la pureza y el tono vira a un verde amarillo, por el cambio de clorofila a feofitina, este efecto se observa más en la congelación indirecta mientras que en la congelación directa no sufre cambios muy bruscos, lo que pasa es que en la congelación indirecta ocurren reacciones de pardeamiento por oxidación, lo que no ocurre con la congelación directa, ya que el CO_2 ayuda a evitar estas oxidaciones, mostrando de esta manera un producto de color más claro en la congelación directa. En la descongelación directa e indirecta el producto sufre una disminución del color siendo más marcada cuando se realiza la descongelación indirecta, esto se debe a que al realizarse la descongelación más lentamente el brócoli está más tiempo en contacto con el calor lo que provoca cambios de clorofila a feofitina, viéndose este efecto en la claridad del producto, lo mismo sucede en la descongelación indirecta pero en una mínima proporción.

Luminosidad. En el producto fresco se encuentra la medición más alta de la luminosidad, al realizar el escaldado disminuye, y al congelarse una vez más disminuye, aunque en la

congelación directa es mínima la diferencia, mientras que en la congelación indirecta ésta tiene su valor más bajo. Al aplicar la descongelación nuevamente sufre un aumento, mostrando en la descongelación directa un producto más claro.

Croma. La pureza del color tiene un aumento muy grande después de realizar el escaldado, y éste desciende al congelar el producto, en la descongelación nuevamente aumenta el croma, aumentando más que el escaldado en la descongelación indirecta, lo cual indica cambios de clorofila a feofitina y oxidaciones, produciendo colores pardos en el producto.

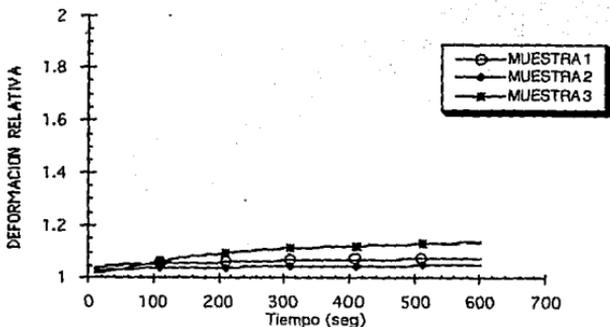
Tono. Después del escaldado el tono disminuye hacia los tonos verde azulados, produciéndose en la congelación una disminución hacia verde amarillento, principalmente en la congelación indirecta.

Por último la hipótesis nula no es aceptada y es válida la hipótesis alterna en donde el efecto de la congelación directa es mayor sobre la descongelación afectando en mayor medida al color del producto.

3. 4. 2. Medición de textura.

A continuación se muestran las gráficas obtenidas en la prueba de textura durante la experimentación.

A) BROCOLI FRESCO.

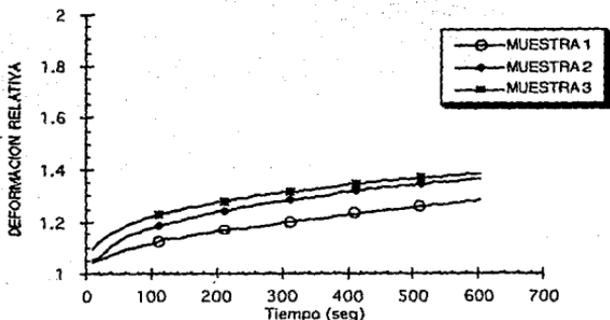


Gráfica 21. Deformación relativa en brócoli fresco.

La deformación relativa del brócoli fresco es mínima, sólo al principio aumenta porque después casi se mantiene constante, la pequeña deformación se debe a que el tejido está compacto, una característica del tallo del brócoli es su textura fibrosa, esto provoca una

mayor resistencia a la fuerza de deformación.

B) BROCOLI ESCALDADO.



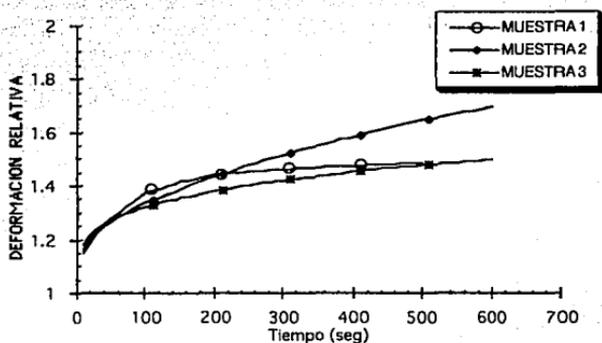
Gráfica 22. Deformación relativa en el brócoli escaldado.

El escaldado al que es sometido el brócoli afecta al tejido mostrando una mayor deformación que en el producto fresco, esto se debe a que el escaldado reblandece el tejido, la pared celular se altera, se desnaturalizan las proteínas nucleares y citoplásmicas, así como otros organelos, manifestándose este efecto en la textura. Después de un tiempo de aplicar la fuerza sobre el brócoli la deformación se hace constante, hasta llegar a un punto en donde ya no cambia.

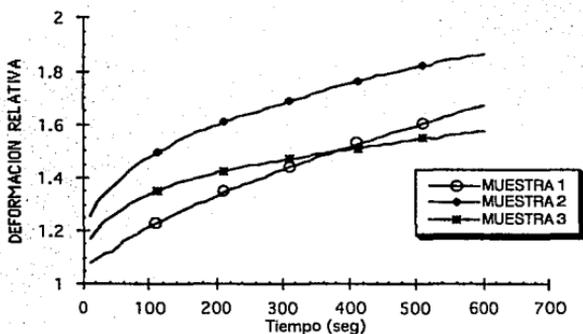
C) BROCOLI DESCONGELADO.

Al congelar y descongelar el producto las membranas citoplásmicas y la pared celular terminan por romperse afectando la textura, como se observa en la gráfica de congelación directa y descongelación directa, la deformación es mayor con respecto al producto escaldado. La congelación con CO₂ altera en mayor medida al tejido, provocando de esta manera que la deformación sea mayor, esta deformación también se observa en tejidos de coliflor (Lipton et al., 1967), por lo que una exposición con CO₂ después del escaldado puede resultar perjudicial para el producto, ya que reblandece los tejidos.

En la gráfica 24, se puede observar al brócoli congelado directamente por lo que el efecto sobre la textura también se ve aumentado con respecto al producto escaldado, además la descongelación indirecta afecta también al tejido, este efecto se puede observar en la gráfica, ya que la textura es mayor que en la gráfica anterior.

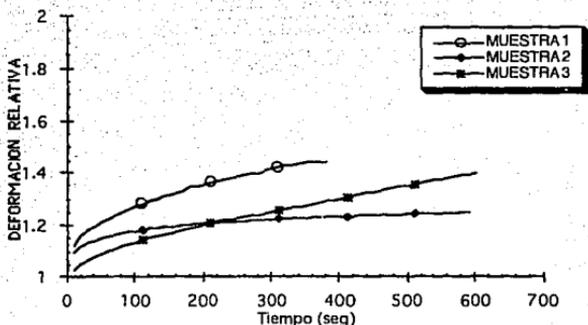


Gráfica 23. Deformación relativa en brócoli congelado directamente y descongelado directamente.



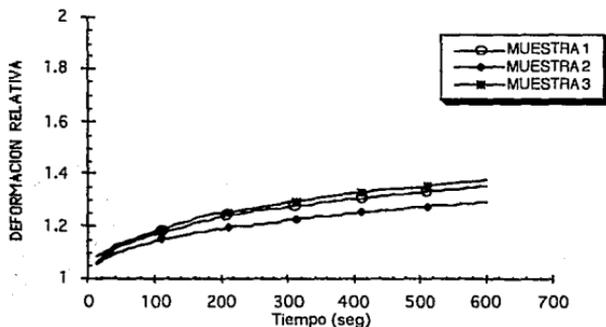
Gráfica 24. Deformación relativa en brócoli congelado directamente y descongelado indirectamente.

La descongelación indirecta provoca menos daños en la textura del brócoli como se observa en la gráfica 2.5, pero aún así la deformación relativa tiende a seguir aumentando, a diferencia de la congelación directa en donde al principio la deformación es grande pero conforme pasa el tiempo tiende a disminuir, esto confirma que sobre todo, siempre la congelación lenta afecta la textura del producto.



Gráfica 25. Deformación relativa en brócoli congelado indirectamente y descongelado directamente.

En la siguiente gráfica se observa que el punto de partida de la deformación es bajo y si lo comparamos con la gráfica anterior es menor la deformación, por lo que las muestras son más resistentes por lo que el daño estructural es menor, ahora si además observamos que se trata de la congelación indirecta, podemos afirmar que el contacto del brócoli con el CO_2 afecta a la textura.



Gráfica 26. Deformación relativa en brócoli congelado indirectamente y descongelado indirectamente.

La textura del brócoli se ve afectada tanto por el contacto del CO_2 como por la velocidad de

congelación y descongelación, por lo que aunque en almacenamiento el CO₂ ayuda a disminuir el amarillento del brócoli, numerosos trabajos al respecto muestran este hecho (Wang, 1979), no es conveniente la aplicación del CO₂ después del escaldado, ya que provoca que el tejido se ablande y esto repercute en su calidad.

D) ANALISIS FACTORIAL.

La determinación experimental de la textura fue analizada por el método factorial de dos variables [2 X 2], congelación-descongelación.

Las hipótesis a probar son las siguientes:

$$\begin{aligned} &\text{Hipótesis nula} \\ &H_0 : \mu_1 = \mu_2 \\ &\text{Hipótesis alterna} \\ &H_0 : \mu_1 \neq \mu_2 \end{aligned}$$

en donde μ_1 es el efecto de la congelación, mientras que μ_2 es el efecto de la descongelación sobre la textura. La hipótesis alterna es bilateral, ya que puede ser verdadera si $\mu_1 < \mu_2$ o bien si $\mu_1 > \mu_2$.

Cuadro 28. Análisis estadístico de la textura.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grad. de Libertad	Media de Cuadrados	F _o
Efectos Principales				
Congelación	0,21	1	0,21	25,77
Descongelación	0,01	1	0,01	1,72
Interacción	0,02	1	0,02	0,40
Error	0,10	12	0,008	
Total	0,35	15		

para $\alpha = 0.05$ Ft = 4.26

La textura del producto sufre efectos graves durante la congelación, El análisis estadístico, tabla 28, muestra que hay diferencia significativa en la interacción por lo que se realizó el análisis de Duncan, para así determinar en qué operación sufre más daño el producto.

Las medias de los datos fueron:

$$\begin{aligned} \bar{Y}_4 &= 1.3574 \text{ Congelación indirecta descongelación indirecta} \\ \bar{Y}_3 &= 1.3612 \text{ Congelación indirecta descongelación directa.} \\ \bar{Y}_1 &= 1.5506 \text{ Congelación directa descongelación directa.} \\ \bar{Y}_2 &= 1.7031 \text{ Congelación directa descongelación indirecta.} \end{aligned}$$

El error estándar de estos promedios de tratamientos es:

$$S_{\bar{y}_i} = \sqrt{\frac{MS_E}{n}} = \sqrt{\frac{0.00824}{3}} = 0.03026$$

Usando la tabla de intervalos significativos de Duncan, se obtienen los valores de $r_{0.05}$ (2,12) = 3.08, $r_{0.05}$ (3,12) = 3.23 y $r_{0.05}$ (4,12) = 3.33. Los intervalos mínimos significativos son:

$$R_2 = r_{0.05} \quad (2, 32) \quad S_{\bar{y}_i} = (3.08)(0.0302) = 0.0932$$

$$R_3 = r_{0.05} \quad (3, 32) \quad S_{\bar{y}_i} = (3.23)(0.0302) = 0.0977$$

$$R_4 = r_{0.05} \quad (4, 32) \quad S_{\bar{y}_i} = (3.33)(0.0302) = 0.1007$$

y las comparaciones obtenidas son:

$$2 \text{ vs. } 4 = 1.7031 - 1.3574 = 0.3457 > 0.1007$$

$$2 \text{ vs. } 3 = 1.7031 - 1.3612 = 0.3419 > 0.0977$$

$$2 \text{ vs. } 1 = 1.7031 - 1.5506 = 0.1525 > 0.0932$$

$$1 \text{ vs. } 4 = 1.5506 - 1.3574 = 0.1932 > 0.0977$$

$$1 \text{ vs. } 3 = 1.5506 - 1.3612 = 0.1894 > 0.0932$$

$$3 \text{ vs. } 4 = 1.3612 - 1.3574 = 0.0038 < 0.0932$$

El análisis muestra que existen diferencias significativas entre todas las parejas de medias, excepto en la 3 y 4, estos puntos corresponden a la congelación indirecta con descongelación directa e indirecta, según el análisis se muestra un menor efecto en estos procesos sobre la textura del producto, la congelación directa afecta más a la textura del producto.

E) ANALISIS GENERAL.

Al comparar los procesos se observa que en el escaldado el daño interno es menor en comparación con el producto en fresco, y al descongelar el daño aumenta, en la congelación indirecta el daño no es tan severo como la congelación directa, en donde se supone sería menor, pero sólo disminuye un poco en la congelación con descongelación directa, esto nos lleva a la conclusión de que la exposición del brócoli durante la congelación con CO₂ perjudica la textura del producto.

El análisis estadístico nos muestra que hay un mayor efecto de la congelación sobre la textura del producto, por lo que: La hipótesis que se propuso para la textura no es aceptada, ya que la congelación indirecta es la que menos afecta a la textura del producto, a continuación se replantea la hipótesis: La congelación directa y la descongelación indirecta afectan en mayor medida a la textura del brócoli.

Conclusiones.

FRESA:

Color.

En general podemos concluir que el producto sufre menos daño al estar en contacto con el CO₂ ya que ayuda a evitar oxidaciones provocando una disminución del croma y el tono y un aumento en la luminosidad, en la descongelación el producto se ve más afectado en la indirecta teniendo un aumento del tono y del croma disminuyendo la luminosidad del producto, esto se debe a que el tiempo de exposición en la descongelación directa es mayor.

Textura.

En la textura se observa un daño más severo en la congelación indirecta con la descongelación indirecta, esto reafirma que la velocidad de congelación y descongelación lenta forma cristales que afectan más a la estructura interna del producto.

Lo anterior confirma lo propuesto en las hipótesis al inicio de la experimentación, por lo que las dos hipótesis propuestas son válidas, ya que la congelación indirecta y la descongelación indirecta afectan más al color y la textura del producto.

BROCOLI:

Color.

En el escaldado el tono adquiere un un color más verde, mientras que en la congelación directa sufre un mayor efecto aumentando el tono considerablemente y disminuyendo el croma. En el brócoli el mayor efecto perjudicial es la descongelación, debido a que después de sufrir un calentamiento en el escaldado y un enfriamiento durante la congelación la clorofila *a* y *b* cambian a feofitina produciendo variaciones en el tono y croma.

Textura.

La velocidad de congelación no sólo afecta a la textura, además la exposición de CO₂ durante la congelación después del escaldado reblandece los tejidos (Wang, 1979), por lo que es aconsejable no exponer al brócoli después de un escaldado a atmósferas con CO₂.

La experimentación demostró que las dos hipótesis propuestas no son válidas, ya que el color se ve más afectado en la descongelación indirecta, mientras que la congelación directa y la descongelación indirecta son las que más afectan la textura del producto.

La medición del color con el colorímetro permite determinar claramente en qué operación se realizan los cambios, además de completar la experimentación con la medición del croma y la luminosidad, mientras que al evaluar la textura con un equipo empírico, las mediciones sólo pueden compararse con otras pruebas que se realicen en el mismo equipo, por lo que es aconsejable utilizar otro equipo que no sea empírico con el cual se obtengan mediciones más explícitas, como un equipo Instron (Shewtel *et al*, 1993).

Además la medición del color con colorímetro es una prueba no destructiva, que permite analizar las muestras en todo el proceso experimental obteniéndose de ésta manera un análisis más objetivo. Por otra parte aunque algunos autores mencionan que la prueba de textura puede sustituirse por pruebas no-destructivas (Yang y Draff, 1978), es muy difícil llevar a cabo una prueba así, debido principalmente a que a lo largo de la experimentación al comprimir la muestra se provocan daños estructurales y al final de la experimentación, después de todas las veces que es comprimida la muestra, no se sabría si es por la prueba o el proceso el daño que sufre la muestra; por lo que, para en este caso en particular, la prueba destructiva es la más viable.

El método estadístico ayuda en gran medida a evaluar de manera objetiva el análisis del color; en la prueba de textura sería conveniente realizarla con otro equipo, en el cual se pudieran obtener más datos en un tiempo más corto para obtener los datos suficientes que ayuden a realizar un análisis estadístico y de esta forma obtener conclusiones más explícitas.

La fresa seguirá siendo una fruta muy consumida en México en estado fresco, por su parte el consumo del brócoli va en aumento, por lo que hay mayores tendencias de investigación para un estudio más detallado de la textura y el color, además se propone para completar el estudio un análisis de ácido ascórbico, la influencia del pH, la influencia del azúcar (en el caso de las fresas), la temperatura de descongelación, otras variedades de fresa y brócoli, cromatografía para estudio del sabor.

El estudio que se realizó en este trabajo puede ser aplicado a otros productos frutícolas, para el estudio de la calidad, tomando como base al color y la textura del producto, o los otros que se mencionan.

Bibliografía.

1. Abers, J. E. y Wroldad, R. E. *Causative factors of color deterioration in strawberry preserves during processing and storage*. J. Food Sci. 44 (1), 1979. 75-81.
2. Badui, Dergal Salvador. *Diccionario de tecnología de los alimentos*. Ed. Alambra, México 1988.
3. Barbosa, L. y Pelag, M. *Propiedades de flujo para alimentos líquidos y semilíquidos*. Rev. Tecnol. Aliment. XVII, No. 2, 1988. 4-24.
4. Batal, K. M., Heaton E. K., Granberry D. M. y Beuchat L. R. *Effects of N⁶-Benzyladenine and storage temperature on shelf-life and quality of raw y cooked broccedi (Brassica oleracea L. var. italica)*. J. Food Sci. 47, 1982. 1675-1678.
5. Billmeyer, Fred W. Jr. y Saltzman, Max. *Principles of color technology*. Interscience Publisher. New York 1968.
6. Bourne, M. C., Moyer, J. C. y Hand, D. B. *Measurement of food texture by universal testing machine*. Food Technology, 20, 1966. 522-526.
7. Brennan, J. G. et al. *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos*. Segunda Edición, México 1980.
8. Brown, H. S. *Texture of food frozen vegetables: effect of freezing rate on green beans*. J. Sci. Food Agr. 18, 1967. 77-81.
9. *Característica precisa del color*. Minolta. Germany 1993.
10. Cash, J. y Sistrunk, W. A. *Anthocyanin pigment concentration and type are important for color in strawberries*. Arkansas Farm Res. 20. (6), 1970. 2
11. Cheftel, J. C.; Cheftel, H. y Besançon, P. *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. Vol II. Ed. Acribia, Zaragoza 1983.
12. Desrosier, Norman W. y Tressler, D. K. *Fundamentals of food freezing*. The AVI Publishing Co. Inc. USA 1977.
13. Desrosier, Norman W. *Conservación de alimentos*. Ed. CECSA, Decimosegunda Impresión, México 1982.
14. Desrosier, Norman W. *Elementos de tecnología de alimentos*. Ed. CECSA, México 1983.
15. Fellows, Peter. *Tecnología del proceso de los alimentos*. Principios y prácticas. Ed. Acribia, Zaragoza 1994.
16. Fennema, O. *The US frozen food industry: 1776-1976*. Food Technology, June, 1976. 56-68.

17. Frías, Tejera In.; Brito, Mirales G. y Hardisson, de la Torre A. *Procedimientos de conservación de los alimentos. I. El frío*. Revista Alimentaria, Octubre, 1990, 27-31.
18. Garrote, Raúl L. *El proceso de congelación aplicada a frutas y hortalizas*. La alimentación latinoamericana. Mayo-junio, 1976, 42-48, 50-51.
19. Gómez, C. M. Angel; Schwentesius, R. Rita y Merino, S. Alejandro. *La producción de hortalizas en México y el tratado de libre comercio con EUN y Canadá*. Reporte de Investigación 06. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial. Universidad Autónoma de Chapingo. 1992.
20. González, Carlos. *Control de calidad*. Ed. Mc Graw Hill. México 1991.
21. Gonzalez, Iñigo J. F., *Brócoli: 20 hectáreas tecnificadas, gracias a los contratos*. Síntesis hortícola, Junio, 1990. 16- 19.
22. Gross, Jeana. *Pigments in fruits*. Academic Press. London 1987.
23. Herrman, K. *Alimentos congelados tecnología y comercialización*. Ed. Acribia S. A. Zaragoza, España, 1977.
24. Holdsworth, S. D. "Heat and mass transfer in the low temperature preservation of foods". Annexe 1970-3 au Bulletin de l'Institut International du Froid, 47, 1970.
25. Holdsworth, S. D. *Conservación de frutos y hortalizas*. Ed. Acribia S. A. Zaragoza, España 1988.
26. Institut International du Froid. *Alimentos congelados*. Ed. Acribia S. A. Zaragoza, España, 1990.
27. ITALIA. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Procedimientos normalizados internacionales recomendados para la descongelación de las frutas y hortalizas congeladas rápidamente y la cocción de las hortalizas congeladas rápidamente para fines de examen*. Programa conjunto FAO/OMS Sobre Normas Alimentarias, Comisión de Codex Alimentarius, CAC/RM 32/33-1970.
28. Kennedy, John B. y Neville, Adam M. *Estadística para ciencias e ingeniería*. Ed, Harla, 2ª Edición, México 1982.
29. Lewis, M. J. *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado*. Ed. Acribia S. A. Zaragoza, España, 1993.
30. Luh, Bor S. y Woodroof, Jaspr G. *Commercial vegetable processing*. The AVI Publishing Co. Inc. Fourth English Edition. USA 1982.
31. Lunderman, V. A. y Moore, J. L. *Inheritance of ascorbic acid content and color intensity in fruits of strawberry (Fragaria X ananassa Duch.)*. J. Am. Soc. Hort. Sci. 100, 1975. 633-636.
32. Madrid et al. *Los gases en la alimentación*, Madrid Vicente, Ediciones. Madrid 1991.
33. Mallet, C. P. *Frozen food technology*. Blackie Academic & Professional. Great Britain 1993.
34. Martí, J. y Aguilera, J. M. *Efecto de la velocidad de congelación en las características mecánicas y microestructurales del arándano y de la mora silvestre*. Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment. Vol. 30. No. 4, 1991. 493-504.

35. MEXICO. INEGI, *Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*. 1994.
36. MEXICO. Confederación Nacional de Productores de Hortalizas. *Exportación de hortalizas y frutas frescas controladas, por productos temporada 1979 - 1992*.
37. MEXICO. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. NOM-FF-46-1982. *Productos alimenticios no industrializados para uso humano-Hortalizas en estado fresco-Brócoli*. México, D. F. 1982.
38. MEXICO, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. NOM-FF-62-1987. *Fruta fresca - Fresa (Fragaria vesca) - Especificaciones*. México, D. F. 1987.
39. MEXICO. Secretaría Agricultura y Recursos Hidráulicos. Dirección General de Desarrollo Agrícola. *Perfil de mercado, del brócoli*. México, abril de 1986.
40. MEXICO. Secretaría Agricultura y Recursos Hidráulicos-Banco de Comercio Exterior. *Competitividad internacional y sensibilidad comercial. Fresa*. México, Diciembre de 1990.
41. Miller, Irwing R., et al. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Ed. Prentice-Hall hispanoamérica, S. A. 4ª edición, México 1992.
42. Montgomery, Douglas C. *Diseño y análisis de experimentos*. Grupo editorial Iberoamérica. México 1991.
43. Müftügil, N. y Yigit, V. *Thawing of frozen strawberries*. International Journal of refrigeration. 9, January, 1986. 11-13.
44. Muller, H. G. *Introducción a la reología de los alimentos*. Editorial Acibia Zaragoza, España 1977.
45. Nonnecke, Lb. Libner. *Vegetable Production*. The AVI Publishing Co. Inc. New York 1989.
46. Pattee, Harol E. *Evaluation of quality of fruits and vegetables*. The AVI Publishing Co. Inc. New York 1985.
47. Philippon, J. y Rouet-Meyer, M. A. *Bianchiment et qualité des légumes et des fruits surgelés. Revue. 2. Aspects sensoriels*. International Journal of refrigeration. 8 (1) January, 1985. 18-52.
48. Pilando, S. Leticia, Wrolstad, E. Rolando y Heatherbell, A. David. *Influence of fruits surgelés. Revue. 2. Aspects aensoriels*. J. Food Sci. 50, 1985. 1121-1125.
49. Potter, Norman N. *La ciencia de los alimentos*. Ed. EDUTEX, México 1973.
50. Rao, M. A. y Steffe, J. F. *Viscoelastic properties of foods*. Elsevier Science Publisher LTD, Great Britain 1992.
51. Sáenz, Colín Alfredo. *Brócoli: cultivo de exportación que exige manejo y dedicación*. Síntesis hortícola, Junio, 1990. 6-13.
52. Sánchez, P. y Fúster, C. *Cambios estructurales producidos en el guisante por los procesos de escaldado y congelación*. Revista alimentaria, Junio, 1988. 65-72.
53. Scott, D. H.; Lawrence, F. S. y Darrow, G. M. *Varietades de la fresa*. Depto de Agricultura de EUN Centro regional de ayuda técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional, México, Buenos Aires. 1974.

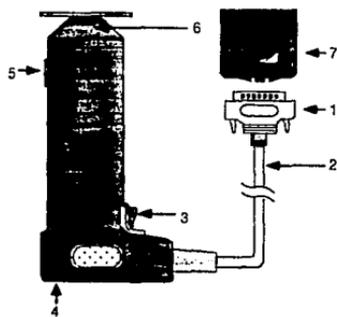
54. Spay, S. E. y Morris, J. R. *Influence of immature fruits on strawberry jam quality and storage stability*. J. Food Sci. 46, 1981. 414-418.
55. Shewfelt, Robert L, Heaton, K. E. y Batal, K. M. *Nondestructive color measurement of fresh broccoli*. J. Food Sci. 49, 1984. 1612-1613.
56. Shewfelt, Robert L. y Stanley, Prussia E. *Postharvest handling*. Academic Press Inc. USA, 1993.
57. Sistrunk, W. A. y Moore, J. N. *Assessment of strawberries quality-fresh and frozen*. Food Technology. 21, 1967. 449-453.
58. Sistrunk, W. A. y Moore, J. N. *Strawberries quality studies in relation to new variety development*. Bull.-Arkansas, Agric. Exp. Stn., Bull 761, 1971.
59. Sistrunk, W. A. y Moore, J. N. *Evaluation of new strawberries selections and cultivars for processing*. Arkansas Farm Res, 1979. 28 (1) 7.
60. Tecante, Coronel Alberto. *Reología de geles*. Curso: Reología y su aplicación al procesamiento de alimentos. Por PUAL-UNAM, UASLP, DCIA-UNAM, CONACYT, y CYTED-RIPFAP. Sede SLP, México, 1994.
61. Tressler, D. K. y Evers, C. F. *The freezing preservation of fruits, fruits juices and vegetables*. The AVI Publishing Co. Inc. New York 1936
62. Yahia et al. *Fisiología y tecnología postcosecha de productos hortícolas*. Limusa, México 1992.
63. Wang, C. Y. *Effect of short-term high CO₂ treatment on the market quality of stored broccoli*. J. Food Sci. 44, 1979. 1478-1482.
64. Wright, W. D. *The measurement of color*. The MacMillan Co. Second English Edition. Great Britain 1958.

Anexos

ANEXO I. EQUIPO DE MEDICION DE COLOR.

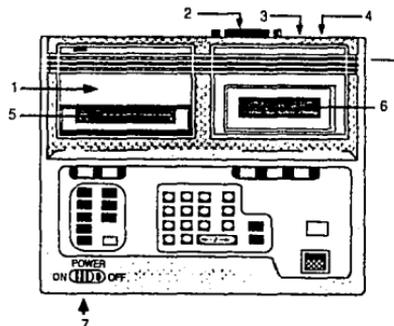
En la prueba de color se utilizó un Colorímetro Minolta CR-300, como el que se observa en la figura. La medición se realizó directamente sobre el tejido de la fresa, en el brócoli el punto de evaluación fue el florete, las muestras se colocaron en el tubo proyector.

El colorímetro fue primero calibrado con la placa CR-A43, que tiene los valores de $Y=97.7$, $x=0.3136$, $y=0.3201$, las mediciones obtenidas fueron Luminosidad [L] y las coordenadas a^* , b^* .



Colorímetro Minolta CR-300

1. Conector
2. Cable.
3. Botón de medición.
4. Lámpara preparada.
5. Enchufe para corriente.
6. Tubo proyector de luz.
7. Placa calibradora CR-A43



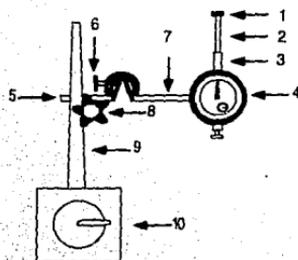
Procesador de datos DP-301

1. Recipiente para papel.
2. Conector.
3. Enchufe de control remoto.
4. Enchufe adaptador AC.
5. Impresora.
6. Pantalla.
7. Apagado y encendido

Colorímetro y procesador de datos Minolta

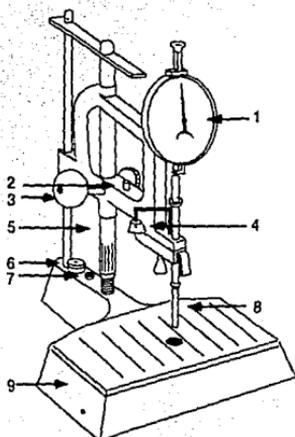
ANEXO II. EQUIPO DE MEDICION DE TEXTURA.

La textura de los frutos individuales se midió mediante la prueba de penetración, para ello se utilizó un penetrómetro Norridge 60655, marca Humboldt MFG Co. [Figura b], con una varilla cilíndrica de acero inoxidable de 3.2 mm de diámetro, la deformación se midió con un indicador Mitutoyo 7052F y una base magnética 70115 [Fig. a].



1. Punto de contacto.
2. Cremallera.
3. Caña.
4. Esfera.
5. Brazo soporte del indicador de carátula.
6. Tornillo de ajuste.
7. Brazo para detener la carátula.
8. Tornillo para ajuste de brazo de la carátula.
9. Varilla de la base magnética.
10. Magneto 70115

Figura A. Indicador de un diamante Mitutoyo No. 2052F con base magnética.



1. Indicador de penetración.
2. Tornillo para detener el punzón
3. Tornillo para fijar el brazo
4. Brazo con base para el indicador de carátula.
5. Brazo para subir o bajar el punzón
6. Pesas.
7. Nivel.
8. Varilla de acero inoxidable.
9. Base del penetrómetro.

Figura B. Penetrómetro Humboldt

ANEXO III. DATOS DE COLOR EN FRESA.

FRESA EN ESTADO FRESCO.

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (a/b)
36.52	42.96	3.4726
44.57	40.59	2.2316
30.18	26.46	2.9352
28.27	46.56	2.5052
43.45	37.34	4.8052
41.97	34.9	5.462
36.99	29.44	3.1867
36.54	41.87	3.421
37.89	41.28	3.4497

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (a/b)
44.38	35.02	3.4254
32.58	45.32	5.0758
40.56	40.06	2.2928
38.85	37.87	3.9918
40.41	28.03	4.979
34.86	28.04	4.6781
32.87	26.51	4.8615
37.22	34.09	5.3225
38.38	37.42	4.8754

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (a/b)
43.52	41.37	4.3371
33.93	40.23	4.8422
36.17	36.85	2.7733
33.14	40.97	4.1243
46.95	46.02	4.3844
37.72	35.33	3.1934
38.71	34.41	3.589
33.3	35.91	4.7165
40.66	39.62	4.574

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (a/b)
40.08	41.37	4.931
33.82	33.14	5.209
34.21	33.23	3.315
32.92	36.57	5.094
34.17	31.92	3.8747
34.47	32.1	5.561
42.21	31.21	3.8274
37.14	29.16	4.1465
35.03	35.3	3.5246

FRESA CONGELADA.

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (a/b)
38.75	42.43	4.071
30.62	42.29	4.394
46.1	43.14	3.5592
34.02	34.11	4.639
45.45	46.42	3.9948
39.79	34.28	3.587
41.37	21.68	5.6336
44.28	44.22	4.1591
43.73	26.01	4.2294

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (a/b)
47.9	42.96	4.1525
30.52	44.73	4.8448
44.22	49.63	4.4214
46.02	40.81	4.0856
45.32	38.47	4.1694
34.23	42.54	3.7524
41.56	40.09	3.4534
37.15	45.34	4.1875
37.18	47.85	4.1925

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (a/b)
35.1	45.4	3.9661
30.58	37.64	4.0401
37.53	36.21	5.1037
32.94	43.88	4.017
44.12	50.37	3.5092
35.78	38.82	4.3146
35.64	35.58	4.6896
34.42	44.54	4.8475
41.77	46.39	4.1872

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (a/b)
35.86	44.8	5.3298
33.58	41.37	3.8629
30.43	39.04	3.964
30.85	43.55	4.2315
36.14	34.4	3.3465
38.2	42.2	5.4096
37.58	43.57	4.3451
35.36	49.19	3.498
31.57	33.57	5.542

Datos obtenidos de la medición de color en brócoli, cada tabla contiene tres muestras de tres lotes.

FRESA DESCONGELADA.

Cong. dir. descong. dir.

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (ab)
37.94	34.49	4.328
39.92	33.11	4.2685
31.61	36.79	5.7311
31.56	34.5	5.3364
41.5	32.04	5.69
39.64	39.54	4.0195
36.2	31.41	5.0976
37.16	36.56	5.1578
41.95	31.6	4.2349

Cong. dir. descong. indir.

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (ab)
44.76	40.02	3.1857
36.05	40.83	4.301
38.17	41.48	3.9841
40.94	35.94	4.775
35.5	38.26	4.3799
31.51	33.93	4.7719
36.3	34.47	4.2004
36.48	34.24	5.3807
35.11	32.62	5.3213

Cong. dir. indescong. dir.

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (ab)
37.56	35.2	5.2638
33.67	33.62	4.3918
37.21	36.49	4.5322
33.6	34.23	5.3299
42.72	36.95	4.0572
38.42	38.21	4.202
39.77	33.63	4.8307
33.28	33.74	5.0243
40.38	36.92	5.8109

Cong. indir. descong. indir.

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (ab)
35.96	35.33	3.6701
35.65	40.04	3.6686
35.15	33.98	3.7669
32.13	35.46	5.4226
31.99	35.64	4.3905
37.71	32.62	5.3277
36.24	33.36	4.911
34.05	32.11	4.5992
32.17	29.29	5.0845

ANEXO IV. DATOS DE COLOR EN BROCOLI.

BROCOLI EN ESTADO FRESCO.

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (b/a)
38.32	16.73	-9.6479
39.68	13.18	-10.075
39.3	18.33	-9.37
36.02	13.04	-11.2769
35.92	13.68	-12.4891
38.77	16.7	-9.5268
36.74	12.86	-13.4982
35.32	12.71	-14.2956
35.75	13.65	-13.5306

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (b/a)
36.44	10.36	-14.291
35.88	12.44	-13.764
37.68	11.86	-14.073
35.38	11.06	-13.975
38.09	11.24	-10.29
39.7	16.89	-10.273
37.16	14.03	-9.57
39.17	18.18	-9.786
37.42	13.22	-10.201

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (b/a)
39.09	13.03	-9.8543
34.97	17.32	-9.2976
36.21	13.03	-9.3962
37.41	17.97	-10.046
36.34	17.09	-12.4588
39.63	14.81	-14.2859
39.02	13.5	-13.634
37.92	14.59	-11.8018
37.56	13.89	-13.832

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (b/a)
36.72	11.84	-10.1996
38.41	12.69	-12.6769
32.77	11.23	-9.3053
37.93	21.82	-14.2769
34.97	11.48	-9.9937
38.83	17.07	-11.4808
36.38	8.39	-12.4092
33.93	11.71	-11.4265
35.23	17.41	-9.932

BROCOLI ESCALDADO.

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (b/a)
35.85	31.65	-5.0547
36.18	36.91	-5.0683
30.36	37.25	-4.886
29.38	31.95	-5.6194
33.85	35.61	-5.0056
33.33	36.57	-5.0877
33.15	38.41	-5.1627
34.95	38.84	-5.0455
31.25	35.12	-5.3143

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (b/a)
33.28	37.1	-5.6584
34.19	36.61	-6.2877
32.26	34.05	-5.6555
30.8	34.97	-5.5312
24.58	27.68	-6.3104
29.11	31.44	-6.1964
32.92	38.76	-6.1569
34.14	33.6	-8.5488
34.51	31.89	-6.9269

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (b/a)
32.58	32.56	-7.3198
27.8	32.31	-6.7603
24.4	24.07	-6.7748
30.16	29.93	-5.6439
26.22	29.27	-7.8724
26.67	29.09	-5.8202
31.42	33.96	-5.7959
32.79	34.88	-6.057
32.64	34.58	-5.7911

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (b/a)
25.84	27.26	-7.9909
31.08	33.04	-6.7237
32.59	35.25	-7.5076
28.97	27.62	-7.6084
27.25	31.66	-7.1963
31.69	31.83	-6.8036
29.16	33.57	-5.4945
25.29	27.25	-5.0693
29.56	32.5	-5.1036

Datos obtenidos de la medición de color en brócoli, cada tabla contiene tres muestras de tres lotes.

BROCOLI CONGELADO.

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (b/a)
31.43	16.14	-11.0627
29.2	25.96	-10.4768
30.74	14.93	-10.7388
29.18	14.98	-10.4618
27.17	19.79	-12.142
29.16	13.78	-12.9306
31.27	15.4	-11.1365
30.25	27.81	-12.4655
30.82	22.97	-9.0305

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (b/a)
28.13	26.46	-8.2241
29.84	27.46	-8.942
29.74	32.89	-7.3464
28.91	23.91	-7.5763
28.02	27.09	-8.8264
26.31	26.13	-7.8712
27.79	23.93	-9.1176
26.13	21.01	-9.8331
26.87	28.03	-9.8732

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (b/a)
29.77	29.63	-12.402
28.17	23.45	-10.8598
29.06	21.15	-12.9584
28.99	16.34	-12.6919
32.46	16.73	-11.4178
30.23	14.74	-12.0775
29.78	16.36	-12.3847
28.15	28.25	-12.2507
29.63	22.23	-10.4363

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (b/a)
29.5	26.01	-9.2685
26.32	27.79	-9.0554
29.35	25.91	-9.9332
28.81	27.2	-9.201
26.24	23.27	-9.7425
26.83	18.38	-9.772
25.23	21.78	-8.7614
25.2	22.22	-10.4941
25.7	20.51	-10.2879

BROCOLI DESCONGELADO.

Cong. dir. descong. dir.

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (a/b)
31.43	30.3	-5.7495
29.2	29.48	-6.0429
30.74	28.19	-5.8685
29.18	28.66	-5.5216
27.17	26.9	-5.6283
29.16	28.31	-6.3146
31.27	30.63	-5.8929
30.25	30.48	-8.2514
30.82	29.97	-6.8056

Cong. dir. descong. indir.

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (a/b)
28.13	33.92	-5.5102
29.84	35.57	-5.6181
29.74	33.98	-5.8099
28.91	33.74	-7.2788
28.02	34.78	-6.9509
26.31	33.57	-8.21
27.79	36.7	-6.9938
26.13	33.46	-5.8986
26.87	36.12	-7.6992

Cong. dir. indescong. dir.

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (a/b)
29.77	34.33	-6.426
28.17	32.28	-7.125
29.06	33.46	-6.3403
28.99	32.18	-9.3954
32.46	33.63	-7.1431
30.23	31.15	-6.6945
29.78	31.38	-7.1054
28.15	33.13	-6.4356
29.63	32.72	-7.4789

Cong. Indir. descong. indir.

Luminosidad (L)	Croma (C)	Tono (a/b)
34.14	26.03	-7.1994
33.82	26.01	-6.8184
33.71	23.79	-7.5056
32.29	23.91	-8.1218
30.24	23.2	-8.4084
31.86	23.27	-7.1236
32.12	25.38	-8.9362
31.45	23.78	-7.5215
34.55	23.22	-8.2895