



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN

FACTORES QUE INCIDEN EN LA CALIDAD EN POSTCOSECHA
DE ZARZAMORA (*Rubus spp.*) cv. 'Cheyenne'

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA

PRESENTA:

FABIOLA ANALÍA DE LA ROSA CRUZ.

ASESOR: M. C. FRANCISCO CRUZ PIZARRO.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

LA VIDA ES UNA OPORTUNIDAD

La vida es una oportunidad, aprovéchala.

La vida es belleza, admírala.

La vida es sueño, hazlo realidad.

La vida es un reto, afróntalo.

La vida es preciosa, cuídala.

La vida es amor, gózala.

La vida es un misterio, devélalo.

La vida es promesa, cúmplela.

La vida es un combate, acéptalo.

La vida es un himno, cántalo.

La vida es un tragedia, domínala.

La vida es una aventura, arróstrala.

La vida es felicidad, merécela.

La vida es la VIDA, defiéndela.

10 COMPROMISOS CON EL ÉXITO

- 1. Nunca más vuelvas a compadecerte de ti mismo, ni a menospreciarte.**
- 2. Nunca más vuelvas a saludar el amanecer si una meta.**
- 3. Baña siempre tus días en el dorado resplandor del entusiasmo.**
- 4. Nunca más vuelvas a ser descortés con ningún ser viviente.**
- 5. Busca siempre la semilla del triunfo en las adversidades.**
- 6. Desempeña las tareas de la mejor forma que puedas hacerlo.**
- 7. Pon todo tu ser en todo lo que hagas.**
- 8. Ve hacia las oportunidades, no esperes que ellas solamente vengan a ti.**
- 9. Examina cada noche los errores del día.**
- 10. Mantente siempre en contacto con tu Creador a través de la oración.**

DEDICATORIAS

Al **creador de todas las cosas** que me escucha y se manifiesta en todo momento.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, quien me proporciono las herramientas necesarias para el termino de mis estudios profesionales.

A la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan** y al **cuerpo docente de la carrera de Ingeniería Agrícola**, por las enseñanzas que de ahí obtuve para forjarme como una buena profesionista.

A **mi Papa Juan de la Rosa Reynoso** por su cariño interminable y su apoyo incondicional en todos los sentidos, a lo largo de mi carrera profesional.

A **mi mamita linda Emilia Cruz Martínez** a quien le debo todo lo que soy, ya que supo guiarme, alentarme y apoyarme en todo momento de mi vida.

A **mi hermano Antonio y mi hermana Leslie**, quienes me han escuchado, consolado y apoyado cuando más los he necesitado, y aunque somos muy diferentes los tres, quiero decirle que los quiero mucho y que es para ellos el logro de esta meta tan esperada.

A **mi mejor amiga Elizabeth Dávila** con quien he compartido experiencias de mi vida, recibiendo de ella siempre su atención, apoyo incondicional y consejos para mi mejoramiento personal y profesional.

A **Israel** quien me ha brindado su amistad desde el inicio de la carrera y su apoyo en muchas etapas de mi vida, pero sobre todo para el termino de estas tesis.

Al **M.C. Francisco Cruz Pizarro**, porque confió en mi desde el inicio de esta tesis y supo esperarme el tiempo necesario para su termino.

AGRADECIMIENTOS

Al **creador de todas las cosas** por cada día vivido hasta ahora, por lo que pone y quita de mi camino, la oportunidad que me brinda de cambiar las cosas y la sabiduría para aceptar las cosas que no puedo cambiar.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, por darme la oportunidad de ser parte de la máxima casa de estudios.

A la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan**, por haber sido el lugar donde pude forjarme como universitaria.

A la **Carrera de Ingeniería Agrícola** que me formo para ejercer mi profesión de manera responsable, me brindo la oportunidad de convivir con mis compañeros de generación y de conocer muchos lugares maravillosos dentro de la Republica Mexicana.

A **mis padres** que me han dado la vida, que con su apoyo y confianza he logrado terminar mis estudios profesionales que constituyen el legado más grande que pudiera recibir con lo cual les viviré eternamente agradecida. Con todo mi cariño y respeto.

A **mi padre** por los esfuerzos y sacrificios que hizo durante muchos años para que siguiera estudiando y lograra terminar mi carrera, le agradezco me haya enseñado a ser una mujer honrada, trabajadora y con espíritu de lucha para cumplir mis metas, te quiero.

A **mi madre** por su cariño, guía, comprensión, apoyo, paciencia y aliento que me ha brindado para teminar uno de los anhelos más grandes de mi vida fruto de constancia, trabajo, esperanza, serenidad, y confianza que en mi depósito. Te quiero mucho mamita linda y te agradeceré toda la vida el haber estado conmigo en los momentos más difíciles de mi vida alentándome a mirar hacia adelante demostrándome que siempre podré contar contigo.

A **mi hermano Antonio y mi hermana Leslie** por su apoyo, consejos y cariño que siempre me brindan.

A los profesores **M.C. Francisco Cruz Pizarro** y al **M.C. Roberto Guerrero Agama** que me brindaron la oportunidad y confianza para desarrollar este proyecto.

A mi asesor **M.C. Francisco Cruz Pizarro** quien debido a su comprensión, paciencia, apoyo y asesoría logre terminar mi tesis profesional.

A mis amigos **Elizabeth, Israel, Miguel, Enrique, Joaquín, Guadalupe, Jennifer, Sergio, Fabiola, José, Azucena, Favio, Toño, Arturo, Isra y David García** por brindarme su amistad, confianza, alegría, apoyo y por dejarme compartir con ellos muchas aventuras.

A la **S. de R.L. “Diego de Betanzos”** por las facilidades otorgadas para el desarrollo de este proyecto.

Por último quiero agradecer a todas aquellas personas que de alguna manera influyeron en mi crecimiento personal, profesional y espiritual.

	Página
3.3.3. Índices de madurez.	38
3.3.3.1. Índices visuales.	40
3.3.3.2. Índices físicos.	40
3.3.3.3. Índices químicos.	42
3.3.3.4. Índices a base de cálculos.	44
3.3.3.5. Índices fisiológicos.	46
3.4. Almacenamiento en frío de frutas.	47
3.4.1. Uso de la congelación como método de conservación.	48
3.4.1.1. Efectos de la congelación.	49
3.4.1.2. Efectos del almacenamiento en congelación.	53
3.4.1.3. Efectos de la descongelación.	54
3.4.2. Almacenamiento en refrigeración.	55
3.4.2.1. Efectos del enfriamiento.	55
3.4.2.2. Pérdida de agua y humedad.	58
3.4.2.3. Alteraciones fisiológicas.	60
3.4.3. Acción de las enzimas y microorganismos causantes del deterioro poscosecha.	63
3.4.3.1. Enzimas.	63
3.4.3.2. Microorganismos.	64
3.5. Formas de consumo de la zarzamora.	68
3.5.1. En fresco.	68
3.5.2. Congelación de frutos.	68
3.5.3. Jugos concentrados.	70
3.5.4. Pulpa concentrada.	70
3.5.5. Deshidratados.	71
3.5.6. Mermelada, jalea, ate y licores.	71
IV. Materiales y Métodos.	72
4.1. Ubicación del experimento.	72
4.1.1. Ubicación del área experimental.	72
4.1.2. Características del lugar de almacenamiento.	74

	Página
4.2. Material vegetal.	75
4.3. Manejo del experimento.	77
4.3.1. Selección de plantas.	77
4.3.2. Monitoreo fenológico.	77
4.3.3. Cosecha, selección y acondicionamiento de los frutos para el almacenamiento.	77
4.3.4. Unidad de muestra.	78
4.3.5. Tratamientos.	78
4.4. Índices determinados y medidos.	78
4.4.1. Determinación de horas frío.	78
4.4.2. Determinación de índices a base de cálculos.	79
4.4.3. Índices de calidad fisicoquímicos.	80
4.4.3.1. Medición de volumen.	80
4.4.3.2. Medición de peso.	80
4.4.3.3. Medición de diámetro polar y ecuatorial.	80
4.4.3.4. Medición de sólidos solubles totales.	80
4.4.3.5. Medición de pH.	80
V. Resultados y discusión.	82
5.1. Resultados obtenidos de la mediciones fisicoquímicas de frutos de zarzamora almacenados en frío.	82
4.1.1. Volumen.	82
5.1.2. Peso.	85
5.1.3. Tamaño.	88
5.1.4. Forma.	92
5.1.5. Sólidos solubles Totales.	94
5.1.6. pH.	97
5.2. Modelo fenológico de zarzamora cv. <i>Cheyenne</i>.	101
VI. Conclusiones.	105
VII. Recomendaciones.	107
VIII. Bibliografía.	108

Índice de cuadros.

	Página
Cuadro 1. Estacionalidad de la oferta de zarzamora fresca en el mercado estadounidense.	5
Cuadro 2. Estacionalidad de las importaciones de zarzamora fresca al mercado Alemán.	6
Cuadro 3. Estadística de producción de zarzamora en México 1992-2004.	8
Cuadro 4. Estados productores, superficie y producción de zarzamora en México 2004.	9
Cuadro 5. Estadística de producción de zarzamora en el Estado de México 1992-2004.	9
Cuadro 6. Cultivares de zarzamora establecidos en México.	10
Cuadro 7. Principales organizaciones de productores de zarzamora en México.	10
Cuadro 8. Superficie, densidad y rendimiento de zarzamora en San Juan Tezontla 2006.	12
Cuadro 9. Cultivares de zarzamora, su origen y características.	21
Cuadro 10. Componentes nutritivos por 100g de porción comestible de zarzamora.	24
Cuadro 11. Cambios fisiológicos y fisicoquímicos en tejidos de frutos durante la maduración.	29
Cuadro 12. Índices de madurez para frutas y hortalizas.	38
Cuadro 13. Constante térmica en cada fase fenológica del cv. <i>Cheyenne</i> Ciclo 2004.	102

Índice de figuras.

	Página
Figura 1. Sección longitudinal de un fruto de zarzamora.	14
Figura 2. Sección longitudinal de un fruto joven de zarzamora.	15
Figura 3. Planta de zarzamora en periodo de reposo.	16
Figura 4. Flor de zarzamora.	17
Figura 5. Sección longitudinal de una yema floral de zarzamora.	18
Figura 6. Inflorescencia de una planta de zarzamora.	19
Figura 7. Representación diagramática de una inflorescencia de zarzamora.	19
Figura 8. Fructificación de un retoño de zarzamora.	20
Figura 9. Calidad organoléptica de un fruto en función de su madurez.	26
Figura 10. Pautas de crecimiento, respiración y producción de etileno de órganos vegetales climatéricos y no climatéricos.	31
Figura 11. Curva de congelación del agua.	49
Figura 12. Curva de congelación de un alimento típico.	51
Figura 13. Representación diagramática de la formación de cristales en alimentos con estructura celular.	52
Figura 14. Respuesta a la temperatura de las frutas sensibles e insensibles al frío.	57
Figura 15. Curso de los eventos que conducen a la lesión o daño del frío.	62
Figura 16. Temperaturas significativas en el almacenamiento en congelación.	67
Figura 17. Localización geográfica de la comunidad de San Juan Tezontla, Texcoco.	72
Figura 18. Localización geográfica del municipio de Texcoco.	73
Figura 19. Refrigerador doméstico con dos compartimientos independientes.	74
Figura 20. Genealogía de la zarzamora cv. <i>Cheyenne</i> .	75
Figura 21. Plantación de zarzamora cv. <i>Cheyenne</i> en San Juan Tezontla.	76
Figura 22. Fructificación en la plantación de zarzamora cv. <i>Cheyenne</i> .	76
Figura 23. Fruto de zarzamora cv. <i>Cheyenne</i> .	76
Figura 24. Acondicionamiento de los frutos para el almacenamiento.	76
Figura 25. Método práctico para medir el volumen de los frutos en una probeta graduada.	81
Figura 26. Desplazamiento en el nivel de agua que indica el volumen de un fruto.	81
Figura 27. Peso de un fruto en una balanza granataria Nora OHAUS Modelo GT 4000.	81
Figura 28. Medición del diámetro polar con un vernier.	81
Figura 29. Medición del diámetro ecuatorial con un vernier.	81

	Página
Figura 30. Medición de sólidos solubles totales con el refractómetro manual ATAGO N-1 _a Bx.	81
Figura 31. Lectura expresada en °Bx con el refractómetro manual ATAGO N-1 _a Bx.	81
Figura 32. Medición de pH con el potenciómetro Hanna HI 8521.	81
Figura 33. Lectura directa de pH en el potenciómetro Hanna HI 8521.	81
Figura 34. Comportamiento de volumen en zarzamoras almacenadas en frío durante 10, 20 y 30 días.	82
Figura 35. Promedio de volumen en zarzamoras almacenadas en frío.	84
Figura 36. Comportamiento de peso en zarzamoras almacenadas en frío durante 10, 20 y 30 días.	85
Figura 37. Promedio de peso en zarzamoras almacenadas en frío.	87
Figura 38. Comportamiento del diámetro ecuatorial en zarzamoras almacenadas en frío durante 10, 20 y 30 días.	88
Figura 39. Comportamiento del diámetro polar en zarzamoras almacenadas en frío durante 10, 20 y 30 días.	89
Figura 40. Promedio del diámetro ecuatorial en zarzamoras almacenadas en frío.	90
Figura 41. Promedio del diámetro polar en zarzamoras almacenadas en frío.	91
Figura 42. Comportamiento de la forma en zarzamoras almacenadas en frío durante 10, 20 y 30 días.	92
Figura 43. Promedio de forma en zarzamoras almacenadas en frío.	93
Figura 44. Comportamiento del contenido de sólidos solubles totales (° Brix) en zarzamoras almacenadas en frío durante 10, 20 y 30 días.	94
Figura 45. Promedio de contenido en sólidos solubles (°Bx) en zarzamoras almacenadas en frío.	96
Figura 46. Comportamiento de pH en zarzamoras almacenadas en frío durante 10, 20 y 30 días.	97
Figura 47. Promedio de pH en zarzamoras almacenadas en frío.	99
Figura 48. Efectos de la velocidad de congelación en frutos de zarzamora almacenados a -1°C.	100
Figura 49. Frutos de zarzamora almacenados a 6°C durante 15 días.	100
Figura 50. Desarrollo de microorganismos en frutos de zarzamora almacenados a 6°C a partir de los 15 días.	100
Figura 51. Encharcamiento tisular en frutos de zarzamora almacenados a 6°C entre los 15 y 20 días.	100
Figura 52. Presencia de microorganismos como <i>Botrytis</i> y <i>Penicillium</i> en frutos de zarzamora almacenados a 6°C.	100
Figura 53. Frutos de zarzamora almacenados a 6°C durante 30 días.	100
Figura 54. Modelo fenológico de zarzamora (<i>Rubus</i> spp.) cv. <i>Cheyenne</i> para San Juan Tezontla, Mpo. de Texcoco Estado de México Ciclo 2004.	103
Figura 55. Principales fases fenológicas de la zarzamora (<i>Rubus</i> spp.) cv. <i>Cheyenne</i> .	104

RESUMEN.

La zarzamora (*Rubus* spp.) es un fruto con una rápida perecibilidad postcosecha, debido principalmente a su textura blanda, susceptibilidad al ataque fungoso, poca resistencia al manipuleo y al transporte. Por ser durante este manejo donde las condiciones que se brinden al fruto determinan su vida real, la cuál esta controlada por una serie de procesos, físicos, químicos y fisiológicos que están estrechamente relacionados y a su vez influenciados por factores de almacenamiento como la temperatura, que una vez que se disminuye, es posible incrementarla por un tiempo considerable con el mínimo de cambios en su calidad; es necesario buscar alternativas de condiciones óptimas que permitan prolongar su vida útil de forma que mantengan su calidad en grado aceptable. Por consiguiente se realizó una medición de índices de calidad fisicoquímicos en frutos de zarzamora de la región de San Juan Tezontla que fueron almacenados en frío durante 30 días para conocer su comportamiento y el periodo de tiempo máximo que pueden permanecer manteniendo en condición aceptable sus características cualitativas, para ello se hicieron dos experimentos: En el primero se seleccionaron al azar 35 frutos de zarzamora empacados en un domo de plástico de 250 g que se almacenaron en el compartimiento de un refrigerador doméstico a -1°C con periodos de análisis cada 10 días de almacenamiento. Finalizando cada uno se midió el volumen, peso, diámetro polar y ecuatorial, forma, $^{\circ}\text{Brix}$ y pH. El segundo experimento se realizó de la misma manera, solo que en este caso se utilizó una temperatura de 6°C . Se hizo una comparación de medias para 15 fechas de cosecha, dando un total de 90 unidades experimentales determinadas por 10 frutos. Al analizar los resultados, se encontró que el almacenamiento a -1°C durante el periodo de 30 días provocó disminución de volumen y peso, bajas pérdidas de tamaño, sólidos solubles, acidez y modificación de forma llegando a ser más anchos. Bajo esta condición la calidad fisicoquímica de los frutos se conserva mejor a diferencia de los refrigerados a 6°C , sin embargo una vez expuestos a temperatura ambiente se produce una elevada pérdida de liquido exudado provocando una reducción de la vida útil y mala textura. El almacenamiento a 6°C causó a partir de los primeros 10 días pérdidas de volumen, peso, tamaño, ancho de forma, y acidez que fueron incrementándose hasta llegar a los 30 días; el contenido de sólidos solubles aumento al llegar a los 20 días posteriormente el nivel decreció ligeramente. Por lo que se concluye que la vida útil de los frutos de zarzamora almacenados a 6°C fue de 15 días pues en este periodo de tiempo las características fisicoquímicas de los frutos se encontraron en condición aceptable y sin presencia de microorganismos. Posteriormente a este éste periodo se presento encharcamiento tisular que junto con la degradación de la estructura celular proporciono excelentes sustratos para que empezaran a desarrollarse microorganismos como *Botrytis* y *Penicillium* que tuvieron alta incidencia a partir de los 20 días provocando a los 30 días la pérdida de la integridad celular de los frutos.

Para que los frutos puedan almacenarse, empacarse o transformarse sin perder significativamente sus características organolépticas y lleguen al consumidor en la condición deseada, deben considerarse ciertos componentes cualitativos conocidos como índices de madurez. En la zarzamora el índice más usado es el color de la superficie del fruto y la facilidad de desprendimiento del pedicelo, debido a que son métodos subjetivos y poco confiables se considero también en este trabajo determinar índices de madurez a base de cálculos, como días transcurridos de floración a maduración y la cantidad acumulada de unidades calor necesarias para completar el ciclo vegetativo de la plantación en el ciclo 2004, utilizando el método residual; además se determinaron horas frío acumuladas en la región de San Juan Tezontla en el invierno de 2003-2004 utilizando el método indirecto Da Mota (1957). Los datos necesarios se obtuvieron de las Estación experimental El Batan del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT en Texcoco. Se realizaron observaciones visuales en 40 plantas de zarzamora desde la fase de brotación vegetativa hasta madurez durante el ciclo 2004, que permitieron identificar, describir y esquematizar sus fases fenológicas en un modelo fenológico único, registrado en la comunidad. Durante el ciclo señalado en la plantación se presentó una constante térmica de brotación vegetativa a madurez de 1343.40 unidades calor acumuladas con una temperatura base de 4.5°C (Fueron 61 días transcurridos de floración a maduración). Mientras que durante el periodo de latencia en el invierno del 2003-2004 se acumuló un total de 501.28 horas frío.

INTRODUCCIÓN.

La zarzamora (*Rubus* spp.) pertenece al grupo de los llamados berries, especies poco producidas en México pero de gran popularidad en Norteamérica y Europa, donde se destinan inversiones considerables de capital a su cultivo debido a su elevada rentabilidad que representa una opción para productores y agroindustriales, rápido retorno de la inversión desde el segundo año, uso intensivo de mano de obra, versatilidad de los frutos para su consumo y grandes posibilidades de exportación, tanto en fresco como procesado (Muñoz y Juárez, 1997; Muratalla *et al.*, 1999; SAGARPA, 2006).

En México el sector agropecuario considera comercialmente a la zarzamora como un producto no tradicional (PNT) cuyo conocimiento es limitado y sus niveles de producción y consumo son modestos. La Secretaría de Agricultura (SAGARPA) ha venido apoyando la promoción de éste producto y ha formado un papel decisivo en el incremento de buena parte de la superficie establecida, debido a la importancia de los PNT y de los favorables impactos que se logran con los apoyos otorgados a las famiempresas y productores, propiciando la reconversión productiva y la generación de empleos para mejorar las condiciones en el medio rural (Muñoz y Juárez, 1997; SAGARPA, 2006; Zamorano y Ríos, 2004).

La mayor superficie plantada, de producción y rendimiento se encuentra principalmente en diez estados, el Estado de México para el 2004 se colocó como el tercer mejor productor representado por tres regiones: Texcoco, Coatepec y Valle de Bravo, siendo este último el más importante (SIAP, 2004). La zona productora de Texcoco surge en 1994 con la implementación de un programa de impulso a frutillas llevado a cabo por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO) estableciendo en la comunidad de San Juan Tezontla siete hectáreas de zarzamora de la variedad *Cheyenne* la cual se caracteriza por producir frutos firmes, dulces y muy grandes con un peso promedio de 6.3 g. En ese mismo año se formó la organización denominada Producción Rural "Diego de Betanzos" S. de R.L. que inició con la comercialización del fruto fresco de manera local y para 1997 con la elaboración casera de mermeladas, licores, jaleas y almíbares. Durante varios años la mayor parte de las ventas en fresco se han tenido solo en temporada de cosecha julio-agosto y no se han utilizado tecnologías de almacenamiento que permitan prolongar la vida útil del fruto debido al desconocimiento del manejo técnico y del comportamiento fisicoquímico que pueden presentar bajo estas condiciones, razones que han limitado la posibilidad de oferta y demanda, haciendo que este rubro sea para el grupo una fuente poco rentable y alternativa. Hasta ahora no se han realizado trabajos acerca de la vida de almacenamiento de zarzamora en esta zona productora, por lo que la investigación debería enfocarse hacia la búsqueda a través de la experimentación de las condiciones óptimas de almacenamiento que permitan prolongar la vida útil de este fruto y poder así tener nuevos canales de comercialización.

El fruto de zarzamora tiene una rápida perecibilidad postcosecha y una vida de anaquel sumamente limitada, debido principalmente a su textura blanda, susceptibilidad al ataque fungoso, poca resistencia al manipuleo y al transporte. Por ser durante este manejo donde las condiciones que se brinden determinan la vida útil del producto, la cuál esta controlada por una serie de procesos, físicos, químicos y fisiológicos que están estrechamente relacionados y a su vez influenciados por factores como la temperatura, que una vez que se disminuye y se comprende correctamente las causas de descomposición de los productos y sus relaciones con la disminución de la temperatura, es posible incrementarla por un tiempo considerable con el mínimo de cambios en su calidad, para fines de operaciones comerciales (Aragón, 1992; Muñoz y Juárez, 1997; Wills et. al. 1998).

Por ello, el objetivo del presente trabajo fue realizar una medición de índices de calidad fisicoquímicos en frutos de zarzamora cv. *Cheyenne* de la región de San Juan Tezontla, Texcoco almacenados a 6°C y -1°C por un periodo de 10, 20 y 30 días, para conocer su comportamiento y determinar el periodo de tiempo máximo en que pueden permanecer manteniendo en condición aceptable sus características cualitativas. Con la finalidad de proporcionarle al grupo de productores información acerca de la calidad de la fruta y de las condiciones óptimas de almacenamiento que les sirva como estrategia para el desarrollo de ventajas competitivas que permitan ofrecer frutos en condición aceptable con determinadas características fisicoquímicas a través de un largo período, durante épocas de escasez, o en varias presentaciones para maximizar su utilización.

Para que los frutos puedan almacenarse, empacarse o transformarse sin perder significativamente sus características organolépticas y lleguen al consumidor en la condición deseada, deben considerarse ciertos componentes cualitativos conocidos como índices de madurez (Díaz, 2002; Kader, 1992; Ryugo, 1993). Por tal fin, en este trabajo también se planteo determinar en el cultivar *Cheyenne* los días transcurridos de floración a maduración y la cantidad acumulada de unidades calor necesarias para completar su ciclo vegetativo, horas frío acumuladas en la región de San Juan Tezontla en el invierno de 2003-2004 y la realización de un modelo fenológico de la zarzamora para la región de San Juan Tezontla, Texcoco.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.

2.1. Objetivo general.

Realizar una medición de índices de madurez físicos y químicos en frutos de zarzamora (*Rubus spp.*) cv. *Cheyenne* de la región de San Juan Tezontla, Texcoco; almacenados en frío.

2.2. Objetivos particulares.

- Conocer el comportamiento de volumen, peso, tamaño, forma, contenido de sólidos solubles totales y pH que presentan los frutos de zarzamora durante su almacenamiento a $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 10, 20 y 30 días.
- Determinar el periodo de tiempo máximo en que pueden permanecer los frutos de zarzamora almacenados a $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ manteniendo en condición aceptable sus características fisicoquímicas.
- Determinar en el cultivar *Cheyenne* índices de madurez a base de cálculos.
- Determinar horas frío acumuladas en la región de San Juan Tezontla en el invierno de 2003-2004.
- Realizar un modelo fenológico de la zarzamora cv. *Cheyenne* para la región de San Juan Tezontla, Municipio de Texcoco, Estado de México que incluya índices de acumulación de temperatura.

2.3. Hipótesis.

El volumen, peso, tamaño, forma, contenido de sólidos solubles y de pH en frutos de zarzamora almacenados durante 30 días a -1°C mantienen una condición aceptable mayor que los sometidos a 6°C , pero su vida útil disminuye al ser descongelados.

III. REVISIÓN DE LITERATURA.

3.1. Importancia de la zarzamora (*Rubus* spp.) en México.

3.1.1. Ubicación de México en el contexto mundial.

La producción mundial de zarzamora cultivada es pequeña, comparada con la de otros *berries*¹, tiene mayor importancia en Estados Unidos, Nueva Zelanda, México, Guatemala y Colombia; se estima que el 75% se destina al proceso de congelado, no obstante es la exportación en fresco la que permite obtener los precios más atractivos (Muñoz y Juárez,1997; SAGARPA, 2006).

Estados Unidos y Alemania, son dos de los principales productores e importadores mundiales de *Berries*, el primero se autoabastece en los meses de mayo a septiembre alcanzando su mayor nivel en el mes de junio, con la producción de California, Washington, Oregon y Florida contribuyendo a la producción mundial con cerca de 13,000 toneladas de las cuáles el 95% se destina a la industria y prácticamente todo el volumen procesado se exporta al mercado Europeo y canadiense; el resto de la producción se reparte entre Europa, Nueva Zelanda, Chile, México, Guatemala, Colombia, entre otros; a excepción de Europa estos países compiten entre sí en los meses de enero a marzo abasteciendo el mercado estadounidense en noviembre y diciembre a excepción de Chile, aunque en el caso de Colombia las ventas inician desde septiembre y octubre prácticamente es el único que presenta oferta. Nueva Zelanda exporta fuera de temporada a Estados Unidos entre los meses de diciembre y marzo, en tanto que la producción de Chile llega en enero y abril y estas dos compiten entre sí (Cuadro 1). La competencia entre países productores está basada, en el volumen y variedad de especies producidas, la calidad y seguridad de los productos ofrecidos, la estacionalidad de la oferta y la proximidad a los mercados (Muñoz y Juárez,1997).

¹ *Berries*: Se les llama a las especies poco producidas en México, pero de gran popularidad en Norteamérica y Europa donde su cultivo constituye inversiones considerables de capital y comercialmente se denominan así.

Cuadro 1. Estacionalidad de la oferta de zarzamora fresca en el mercado estadounidense.

Proveedor	Meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Estados Unidos												
-California					X	X	X	X	X			
-Washington						X	X	X				
-Oregon						X	X	X	X		X	X
-Florida					X	X			X			
Colombia	X	X	X						X	X	X	X
Chile	X	X	X									
Guatemala	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X
Nueva Zelanda	X	X	X									X
México	X	X	X	X	X	X				X	X	X

FUENTE: Muñoz y Juárez, 1997.

México participa con cierta significancia en la producción mundial de zarzamora, exportando zarzamora fresca y congelada de octubre a enero, principalmente al mercado de los Estados Unidos pues durante estos meses se registra desabasto (Cuadro 1), lo que al país le representa una ventaja competitiva para cubrir una ventana de comercialización y abastecer la demanda del producto, en dicho periodo es en el que se alcanzan los más altos precios en el mercado mundial debido a la escasa oferta, haciendo de este rubro una fuente de producción rentable y alternativa (Muñoz y Juárez, 1997; Muratalla *et al.*, 1999; SAGARPA, 2006). Cabe destacar que los agricultores que envían en fresco para el consumidor internacional obtienen buenas ganancias, ya que pueden conseguir hasta un 300 por ciento más que lo que se logra exportándolos de manera congelada (SAGARPA, 2006).

Entre los factores que han limitado el incremento de las exportaciones se encuentra: a) Poca organización, pues hay dificultad al compactar la fruta dispersa de muchos pequeños productores que ante una mejor oferta de precios o plazos de pago, fácilmente suspenden la entrega a un comprador y lo cambian por otro, impidiéndole a aquél cumplir con sus compromisos en los mercados de exportación; b) Competencia en calidad del producto, que debe ser igual tanto para el mercado interno como para el potencial mercado internacional; c) Gran susceptibilidad del cultivo a las modificaciones bruscas del clima, que afectan la regularidad de los cortes de fruta y por consiguiente los envíos a los mercados de exportación. Si a esto se le suma el hecho de que más del 85% de los productores disponen de menos de dos hectáreas se comprende lo difícil que resulta para los agentes exportadores compactar volúmenes que justifiquen la exportación (Muñoz y Juárez, 1997; SAGARPA, 2006).

Pese a las anteriores limitaciones se ha demostrado tener la capacidad para sostener los envíos en estado fresco prácticamente durante todo el año, durante los meses de junio a septiembre se registran envíos equivalentes al 1% del volumen total exportado debido principalmente: a) Durante esta temporada ocurren las lluvias más copiosas del año, que impiden las cosechas regulares, además de que la calidad de la fruta es muy baja; b) En esta temporada es cuando se registra la mayor producción en Estados Unidos, de tal forma que los precios sufren caídas a niveles que hacen incosteables los envíos desde México (Muñoz y Juárez, 1997).

Cuadro 2. Estacionalidad de las importaciones de zarzamora fresca al mercado Alemán.

Proveedor	Meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Unión Europea												
Holanda							X	X	X	X		
-Italia							X	X	X			
Rumania						X	X	X	X			
Yugoslavia						X	X	X	X			
Chile	X	X	X	X								

FUENTE: Muñoz y Juárez, 1997.

Los principales países importadores de zarzamora fresca y congelada son Alemania, Holanda, Reino Unido y Bélgica que a la vez son los principales exportadores.

Alemania y Holanda participan conjuntamente con el 70% del las importaciones de zarzamora fresca su estacionalidad se presenta en el Cuadro 2, donde se puede observar que Chile es el único país que aparece como proveedor fuera de temporada durante los primeros meses del año, con una participación de tan sólo 1% del total de estas importaciones, el mayor volumen proviene de Yugoslavia y Rumania, sin embargo son proveedores en el período que coincide con la producción interna de los países de la Unión Europea, que sobresalen como abastecedores aunque los volúmenes que importa son comparativamente pequeñas respecto al total de otros *berries*. Respecto a las importaciones de zarzamora congelada, cabe desatacar que Yugoslavia es el principal proveedor, seguido de Chile (Muñoz y Juárez, 1997).

Las importaciones de zarzamora fresca que México realiza principalmente de Estados Unidos y Chile han dado indicios de cierto dinamismo a partir del año 1995 debido al descuido del que ha sido objeto el mercado interno por parte de productores y comercializadores, mismos que privilegian los envíos al exterior de la fruta de mejor calidad y al mercado interno destinan la de menor calidad o simplemente no lo consideran dentro de sus planes de venta. Por lo tanto se deja espacios a aquellos países como Chile que ven en el mercado mexicano una excelente oportunidad de satisfacer la demanda de cierto segmento de consumidores que están dispuestos a pagar frutos de fresca calidad (Muñoz y Juárez, 1997; Muratalla *et al.*, 1999).

3.1.2. La zarzamora en México.

En el sector agropecuario se tiene una amplia gama de productos agropecuarios cuyo conocimiento es limitado y sus niveles de producción y consumo son modestos se denominan comercialmente como no tradicionales (PNT) que se definen como el conjunto de productos agropecuarios nativos o de orígenes lejanos, exóticos, lo mismo tropicales que de zonas áridas, de volúmenes de producción pequeños, circunscritos a ciertas regiones o microclimas, poco conocidos en los mercados y por los consumidores (Zamorano y Ríos, 2004).

La Secretaria de Agricultura (SAGARPA) ha venido apoyando la promoción de éste amplio grupo de cultivos-productos, habida cuenta de la importancia de los PNT y de los favorables impactos que se logran con los apoyos otorgados a las famiempresas y productores, propiciando la reconversión productiva y la generación de empleos para mejorar las condiciones en el medio rural (Zamorano y Ríos, 2004).

Entre los productos no tradiciones en México se encuentra la zarzamora, su importancia radica en cinco razones:

1. Elevada rentabilidad que representa una opción para productores y agroindustriales.
2. Rápido retorno de la inversión, desde el segundo año.
3. Uso intensivo de mano de obra, pues se requieren 900 jornales por ha.
4. Versatilidad de los frutos para su consumo.
5. Grandes posibilidades de exportación (Muñoz y Juárez, 1997; SAGARPA, 2006; Zamorano y Ríos, 2004).

El registro de superficie plantada y producción inicio desde 1990 con datos del VII Censo Agropecuario publicado en 1991 y es a partir de 1992 que empezó a llamar la atención de productores privados y de las dependencias gubernamentales, quienes formaron un papel decisivo en el incremento de buena parte de la superficie establecida hasta 1995, sin embargo pasaron por alto algunos problemas como adaptación de algunas variedades, errores de manejo sobre todo en las podas, incidencia de heladas, el pago de la totalidad de los costos de mantenimiento, la exigencia de inversiones por hectárea de por lo menos \$30.000, superficie no mayor a dos hectáreas por productor, desconocimiento de las características del fruto, capacitación y asesoría para la comercialización, entre otros (Muñoz y Juárez, 1997; Zamorano y Ríos, 2004).

A partir del año 2000 hasta el 2004 se registro un aumento en superficie y producción de zarzamora, en este sentido el rendimiento corresponde a productores que han logrado obtener buenos resultados, debido a que han contado con asesoría técnica y recursos económicos para mantener los cultivos (Cuadro 3) (Muñoz y Juárez, 1997; SAGARPA, 2006).

Cuadro 3. Estadística de producción de zarzamora en México 1992-2004.

Año	Superficie Plantada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
2004	2,198	2,140	26,696	54
2003	2,071	2,002	27,645	47.305
2002	1,117	1,043	11,117	42.11
2001	997.75	990.25	11,569.52	11.683
2000	1,191.9	1,153.4	13,534.30	11.734
1999	1,108.15	1,045.9	11,497.59	10.993
1998	976	923	10,645.50	11.534
1997	775	750	5,604	7.472
1996	731	698	9,765	13.99
1995	655	551	7,574	13.746
1994	633	535	5,480	10.243
1993	482	225	3,996	17.76
1992	445	190	326	1.716

FUENTE: Sistema de Información Agropecuaria/ SAGARPA con datos del SIACON, 2004.

En diez estados productores se presentó el mayor incremento en superficie plantada, de producción y rendimiento en el 2004 (Cuadro 4), (Muñoz y Juárez, 1997; SIAP, 2004; SAGARPA, 2006).

Cuadro 4. Estados productores, superficie y producción de zarzamora en México 2004.

Estado	Lugar de producción	Volumen de la producción (t)	Valor de la producción (miles de pesos)	Superficie Plantada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Precio Medio Rural (\$/t)
MICHOACAN	1	25,569	607,260	2,033	2,003	12.763	23,750
NAYARIT	2	510	12,750	43	43	12.000	25,000
MEXICO	3	376	6,184	50	36	10.444	16,447
JALISCO	4	102	673	20	20	5.177	6,579
MORELOS	5	80	400	20	20	4.000	5,000
HIDALGO	6	53	584	21	15	3.547	10,977
GUANAJUATO	7	5	40	6	1	5.000	8,000
CHIAPAS	8	1	8	2	2	0.700	6,000
BAJA CALIFORNIA	9	0	0	2	0	0.000	0
COLIMA	9	0	0	1	0	0.000	0
Total		26,696	627,899	2,198	2,140	54	

FUENTE: Sistema de Información Agropecuaria/ SAGARPA con datos del SIACON, 2004.

El estado de México se colocó como el tercer mejor productor en el año 2004 (Cuadro 4 y 5), representado por tres regiones: Texcoco, Coatepec y Valle de Bravo, siendo este último el más importante, tanto en superficie, producción y rendimiento (Muñoz y Juárez, 1997; SIAP, 2004).

Cuadro 5. Estadística de producción de zarzamora en el Estado de México 1992-2004.

Año	Superficie Plantada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
2004	50	36	376	10.444
2003	48	48	395	8.219
2002	59	59	370	6.237
2001	67.25	67.25	457.05	6.796
2000	67.25	67.25	467.35	6.949
1999	65	65	404	6.215
1998	62	62	421.5	6.798
1997	53	53	420	7.925
1996	30	28	156	5.571
1995	30	18	77	4.278
1994	6	6	28	4.667
1993	4	4	13	3.25
1992	4	4	14	3.5

FUENTE: Sistema de Información Agropecuaria/ SAGARPA con datos del SIACON, 2004.

Los cultivares establecidos en México son de origen estadounidense de crecimiento erecto y rastrero (Moore y Skirvin, 1990; Muñoz y Juárez, 1997) distribuidos en ocho estados principalmente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Cultivares de zarzamora establecidos en México.

Estado	Cultivares
Michoacán	<i>Brazos+</i> , <i>Comanche</i> , <i>Choctaw</i> , <i>Cheyenne</i> y <i>Olallie</i> .
Estado de México	<i>Brazos</i> , <i>Cheyenne</i> , <i>Cherokee</i> , <i>Shawnee</i> , <i>Choctaw</i> , <i>Comanche</i> , <i>Logan</i> y <i>Olallie</i> .
Morelos	<i>Logan</i> , <i>Olallie</i> , <i>Comanche</i> , <i>Cheyenne</i> , <i>Cherokee</i> .
Veracruz	<i>Brazos</i> y <i>Comanche</i> .
Jalisco	<i>Brazos</i> y <i>Comanche</i> .
Hidalgo	<i>Cheyenne</i> y <i>Cherokee</i> .
Puebla	<i>Brazos</i> , <i>Cheyenne</i> y <i>Comanche</i> .
Distrito Federal	<i>Cheyenne</i> , <i>Shawnee</i> , <i>Cherokee</i> .

+ Aproximadamente el 90% corresponde a esta variedad.

FUENTE: Muratalla *et al.*, 1999.

La organización en torno al cultivo de la zarzamora y su ámbito de acción se circunscribe a las principales regiones productoras, en el Cuadro 7 se señalan las principales organizaciones en el país, cada una en distinto grado de desarrollo (Muñoz y Juárez, 1997).

Cuadro 7. Principales organizaciones de productores de zarzamora en México.

Nombre de la Organización	Ámbito geográfico
Asociación de productores de Zarzamora del Valle de los Reyes	Los Reyes, Michoacán
Unión de productores de Zarzamora	Los Reyes, Michoacán
Unión de Sociedades de Producción Rural "Frutales Michoacanos"	Ziracuaretiro, Michoacán
Unión de Productores de Frutillas	Texcoco, México
S.P.R. "Feliciano Antonio"	Jilotepec, México

FUENTE: Muñoz y Juárez, 1997.

3.1.2.1. Antecedentes y producción de zarzamora en San Juan Tezontla, Texcoco.

La zona productora de Texcoco surgió en 1994 plantando siete hectáreas de zarzamora de la variedad *Cheyenne* y seis hectáreas de frambuesa de la variedad *Autumn Bliss*, el establecimiento se hizo en el marco de un programa de impulso a frutillas llevado a cabo por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO) del gobierno del Estado de México, quien dentro de su plan de desarrollo agro ecológico y eco turístico busco que las familias disfrutaran de sus huertas de manera directa, consumieran y compraran la fruta, reduciendo los costos de cosecha y aprovechando al máximo la fruta, proponiendo el concepto novedoso de "coseche usted mismo". Para el desarrollo de este concepto se comprometo a dar la planta, brindar asesoría técnica y cursos de capacitación; por su parte, los productores deberían con los terrenos, agua de riego, comprometerse a poner en práctica el paquete tecnológico recomendado, invertir en el desarrollo de los cultivos, aportar mano de obra y a no participar con mas de una hectárea por productor (Muñoz y Juárez, 1997).

Dado que durante dos años consecutivos ocurrieron fuertes heladas en el Valle de México no se obtuvieron cosechas significativas, lo que desespero a algunos productores que no vieron cumplirse las expectativas de alta rentabilidad que desde el inicio del programa les plantearon los promotores del mismo. De hecho una desventaja que tienen estos productores es precisamente la imposibilidad de producir en los meses en que estas frutas alcanzan atractivos precios en los mercados de exportación (octubre-febrero) dada la ocurrencia de heladas, además de las fuertes sumas de capital que se requieren para brindar un adecuado manejo al cultivo, el reducido tamaño de los productores, junto a la inexistencia de líneas de crédito, han limitado considerablemente que estos cultivos expresen todo su potencial productivo (Muñoz y Juárez, 1997; SIAP, 2004).

Los productores de la comunidad aplicaron el programa de gobierno mostrando gran interés e iniciativa y por ello formaron la organización denominada Producción Rural "Diego de Betanzos" S. de R.L., constituida el nueve de noviembre de 1995 e integrada por 10 socios, en ese mismo año innovaron en sus huertas el concepto "Coseche usted mismo", quizás el aspecto más novedoso constituyo la utilización de un diseño comercial que se hizo llamar corredor ecoturístico, con la finalidad de aprovechar la afluencia turística para la cosecha. Empezaron a vender en fresco a granel de manera local y como opción de venta en 1997 decidieron dar valor agregado al fruto elaborando de forma casera mermeladas, licores, jaleas y almíbares, comercializado en ferias, expo agropecuarias y mercados².

² J. González C., 2006. Comunicación personal

Actualmente cuatro socios siguen en la organización quienes siguen adelante con sus plantaciones y la comercialización, tienen un régimen de pequeña propiedad, el uso actual de su suelo es agrícola, cuentan con una superficie de riego no mayor a una hectárea en su conjunto poseen una superficie de 2.250 ha con un rendimiento de 16.5 t (Cuadro 8); no suficiente para una explotación comercial en fresco que sea competitiva, aunque cada uno tiene la capacidad de duplicar la superficie de riego.

Cuadro 8. Superficie, densidad y rendimiento de zarzamora en San Juan Tezontla 2006.

Productor	Superficie Plantada (ha)	Densidad (Plantas / ha)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Cosme Velásquez Velásquez	0.5	3500	5250
Ezequiel Miranda Flores	0.5	2000	3000
José Velásquez Hernández	0.75	4000	6000
Juan Sabino González Corona	0.5	1500	2250
Total	2.25	11000	16500

Los problemas que limitan el desarrollo del grupo es el manejo técnico deficiente de las plantaciones, poco volumen de producción y baja posibilidad de oferta, desconocimiento del manejo postcosecha, los productos procesados de manera artesanal no cumplen con normas de calidad, sin etiqueta y marca propia, deficiente estrategia de comercialización y desconocimiento del mercado².

² J. González C., 2006. Comunicación personal

3.2. Generalidades de la zarzamora.

3.2.1. Origen.

La zarzamora se ha encontrado a lo largo del mundo principalmente en las regiones templadas del hemisferio norte, excepto en las regiones del desierto. Aunque las especies son nativas de muchas partes del mundo, hay evidencia que fueron domesticadas por el decimoséptimo siglo en Europa y durante el decimonoveno siglo en Norteamérica. Los primeros colonos en América del norte consideraron a la zarzamora como maleza y su interés primario estaba en encontrar la manera de destruirlas, pero hay evidencia que los frutos cosechados se utilizaron en la fabricación de vino (Moore y Skirvin, 1990).

3.2.2. Clasificación taxonómica.

La zarzamora pertenece a la familia *Rosaceae* una de las más importantes, por número de especies, por su relevancia económica y su amplia distribución. Cronquist, (1977); Holdsworth, (1988); Moore y Skirvin, (1990); Sánchez, (1980) reportaron la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Vegetal

Subreino: *Embryobionta*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Subclase: *Rosidae*

Orden: *Rosales*

Familia: *Rosaceae*

Subfamilia: *Rosoideae*

Género: *Rubus*

Subgénero: *Eubatus*

El subgénero *Eubatus*, es un grupo muy inconstante, heterogéneo y complejo de plantas, se reconocen cerca de 350 especies. Habita las regiones templadas principalmente al noroeste de Asia, Europa, Norte de África, América del Norte y las montañas de América del Sur (Moore y Skirvin, 1990).

3.2.3. Descripción botánica.

La zarzamora es un fruto agregado o polidrupa formado por varios frutos individuales carnosos llamados drupeolas, pseudodrupa o falsa drupa, los cuales se adhieren al receptáculo que se vuelve una parte comestible y se torna de color negro púrpura a la maduración (Figura 1 y 2) característica que la distingue de su compañera de género la frambuesa (Díaz, 2002; Moore y Skirvin, 1990; Muratalla *et al.*, 1999; Ryugo, 1993).

La parte comestible de los frutos carnosos se deriva de diferentes órganos de la flor (Hobson, 1993) ello implica gran variación de comportamiento en los frutos por lo que las estructuras de las que derivan tiene considerable repercusión sobre las recomendaciones adecuadas para su conservación y calidad postcosecha (Pantastico, 1975; Wills *et al.*, 1998).

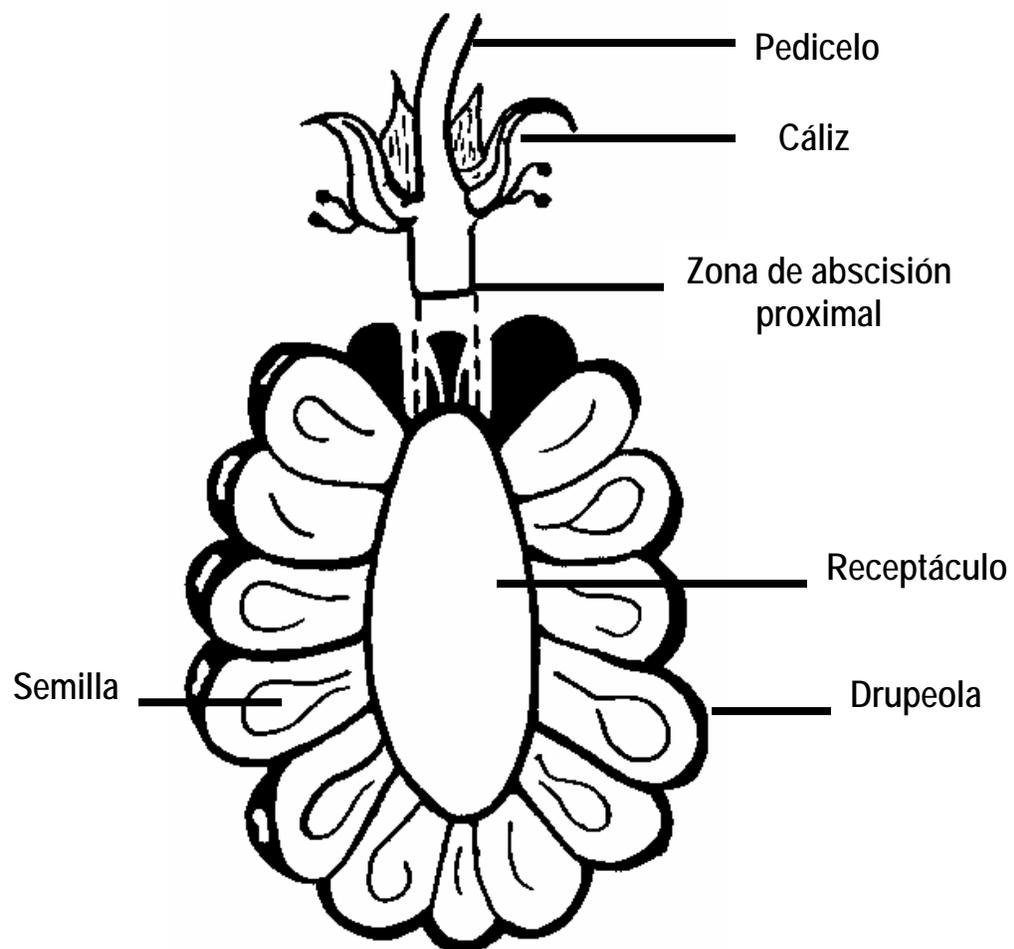


Figura 1. Sección longitudinal de un fruto de zarzamora.
FUENTE: Moore y Skirvin, 1990.

Las drupeolas son los verdaderos frutos, presentan un exocarpio formado por capas epidérmicas y subepidérmicas que tiene una textura glabra (desprovistos de pubescencia), el mesocarpio es carnosos y el endocarpio el tejido más interno del ovario en desarrollo, contiene una sola semilla viable pequeña, dura y de una superficie de áspera a lisa (Díaz, 2002; Moore y Skirvin, 1990; Ryugo, 1993).

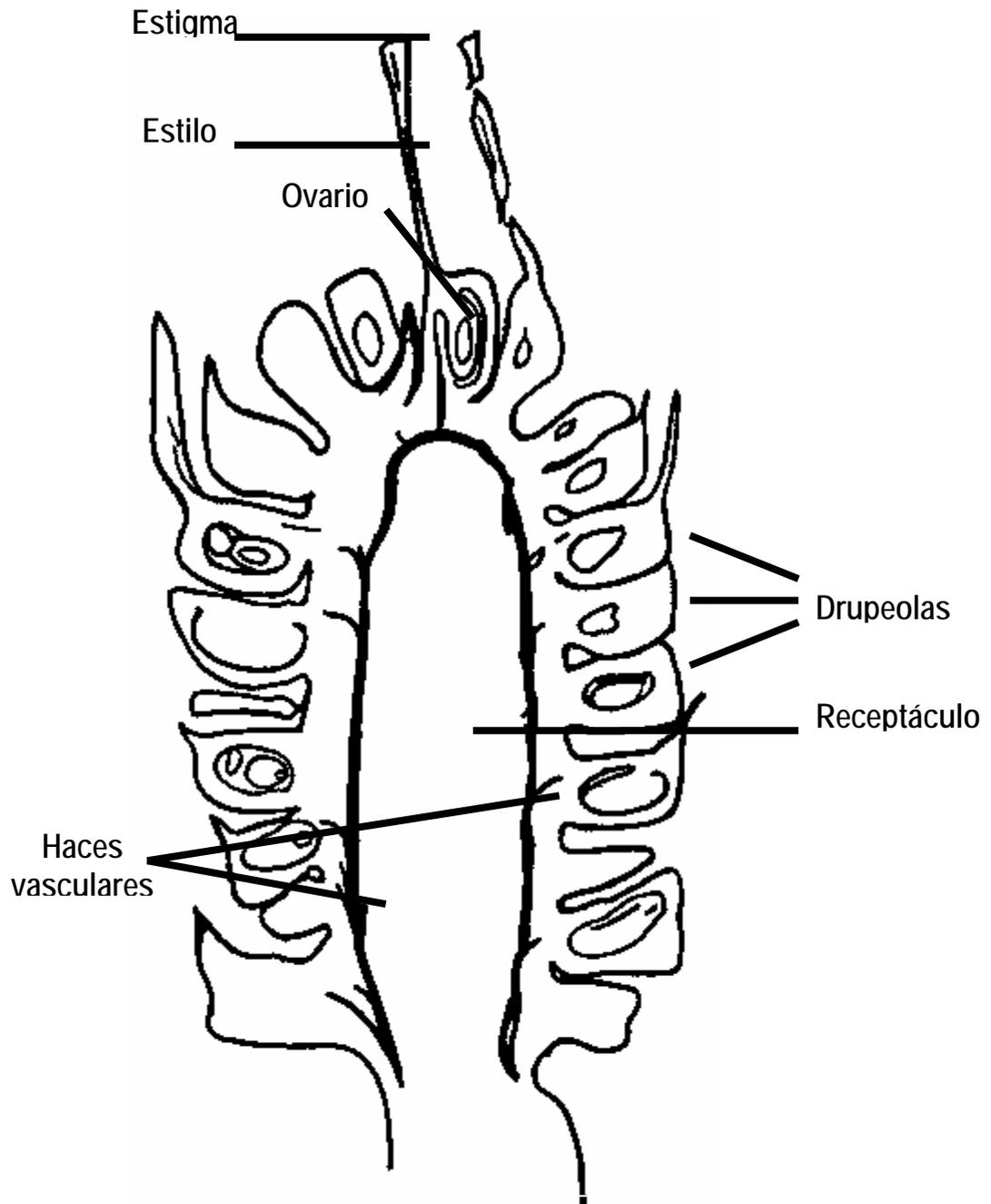


Figura 2. Sección longitudinal de un fruto joven de zarzamora.

FUENTE: Moore y Skirvin, 1990.

El frutal es una planta perenne que puede durar más de 20 años dependiendo del manejo (Muratalla *et al.*, 1999). Las cañas surgen de los brotes en coronas o raíces, durante su primer año no florecen, crecen rápidamente en longitud y normalmente producen las hojas compuestas, en el segundo año siguiendo un periodo inactivo, producen ramas laterales con hojas y una inflorescencia terminal que producen renuevos cada año. Estas cañas están armadas con espinas duras que varían en su forma y tamaño de desarrollo, de consistencia herbácea y apariencia arbustiva (semileñosos) ver Figura 3, (Moore y Skirvin, 1990; Muratalla *et al.*, 1999). La corona y el sistema radical son perennes, mientras que las cañas son bianuales (Moore y Skirvin, 1990).

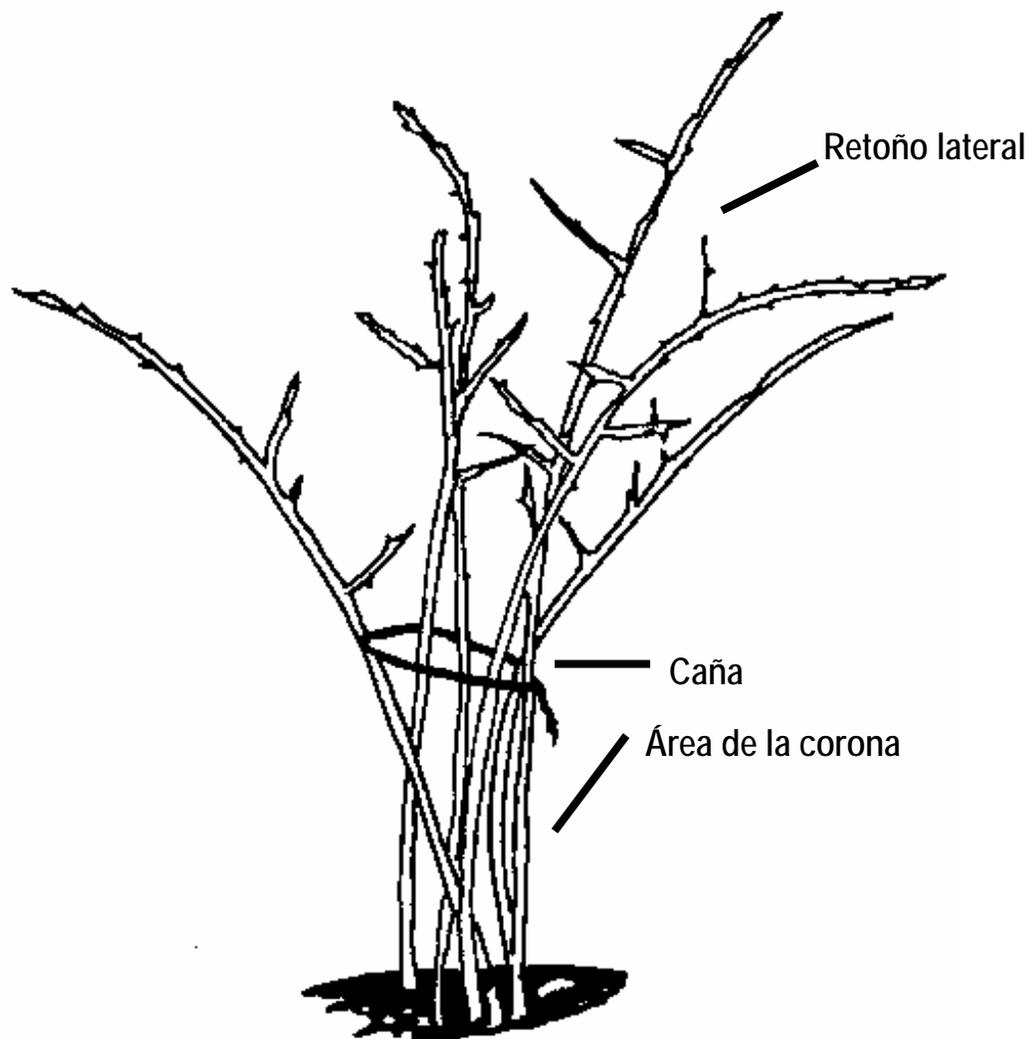


Figura 3. Planta de zarzamora en periodo de reposo.
FUENTE: Moore y Skirvin, 1990.

Sus hojas son compuestas por 3 ó 5 folíolos peciolados que terminan en un folíolo impar situado en un raquis espinoso, de forma elíptica ovada, con borde dentado o aserrado, de color verde oscuro por el haz y claro por el envés (Moore y Skirvin, 1990).

La flor es simple, pentámera, completa y hermafrodita; contiene varios pistilos simples individuales esparcidos sobre la superficie de un solo receptáculo, la corola es de color blanco a blanco rosado que atrae a los polinizadores como las abejas principalmente, el cáliz consta de sépalos verdes caidizos, estambres numerosos arreglados en forma de espiral que aparecen sobre un receptáculo convexo (Figura 4 y 5) (Díaz, 2002; Moore y Skirvin, 1990; Ryugo, 1993).

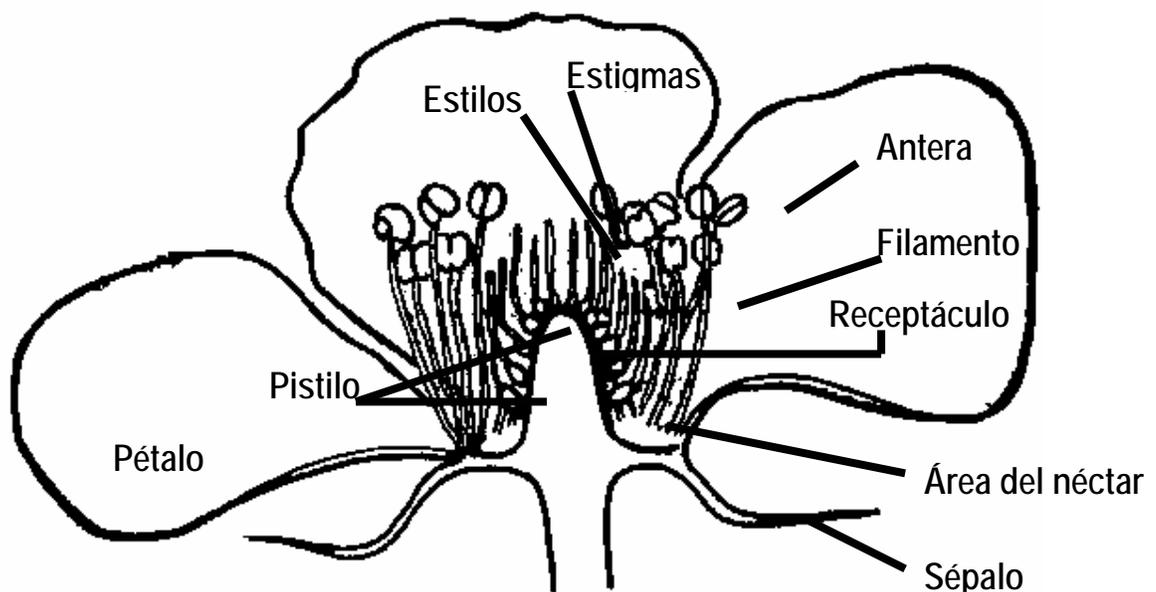


Figura 4. Flor de zarzamora.
FUENTE: Moore y Skirvin, 1990.

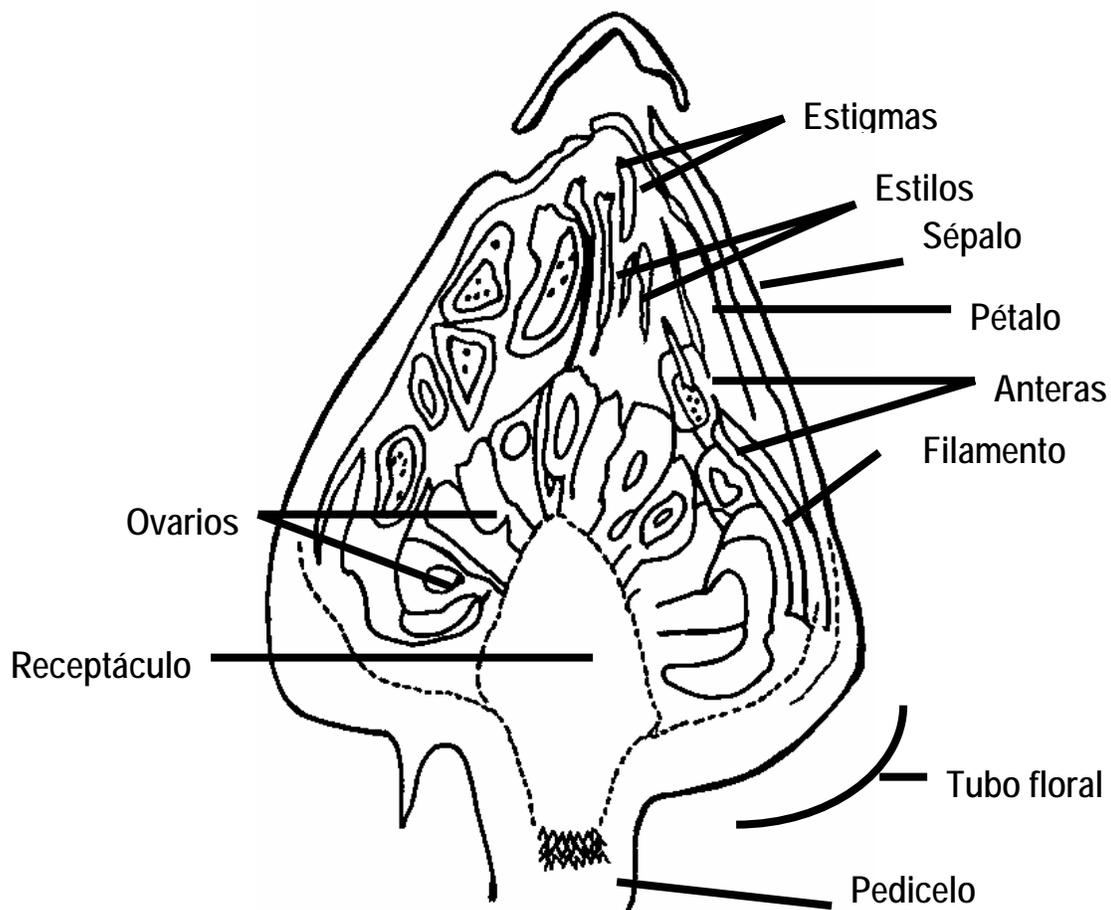


Figura 5. Sección longitudinal de una yema floral de zarzamora.
FUENTE: Moore y Skirvin, 1990.

Las flores nacen en racimos, dando lugar a una inflorescencia de forma oblonga o piramidal, considerada como cima compuesta que tiene un eje principal planificado con flores sobre pedicelos de igual longitud, la primera aparece en la parte terminal del eje y las más jóvenes debajo de éste, el número de flores por inflorescencia varía de 3 a 75 según el cultivar, ver Figura 6 y 7 (Moore y Skirvin, 1990; Ryugo, 1993).

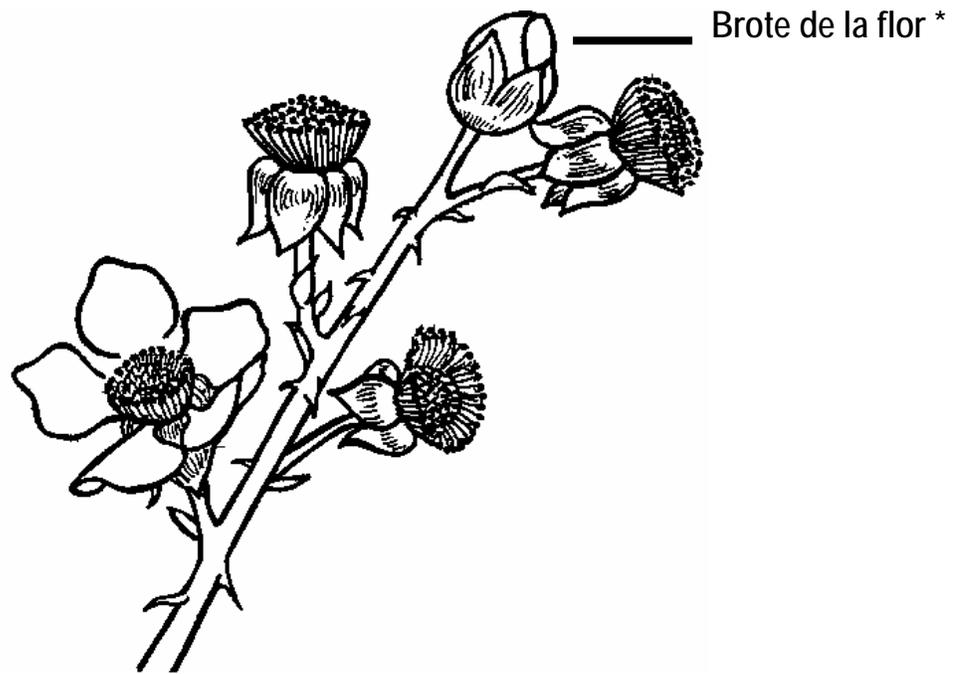


Figura 6. Inflorescencia de una planta de zarzamora.

* Fase de la palomita de maíz.

FUENTE: Moore y Skirvin, 1990.

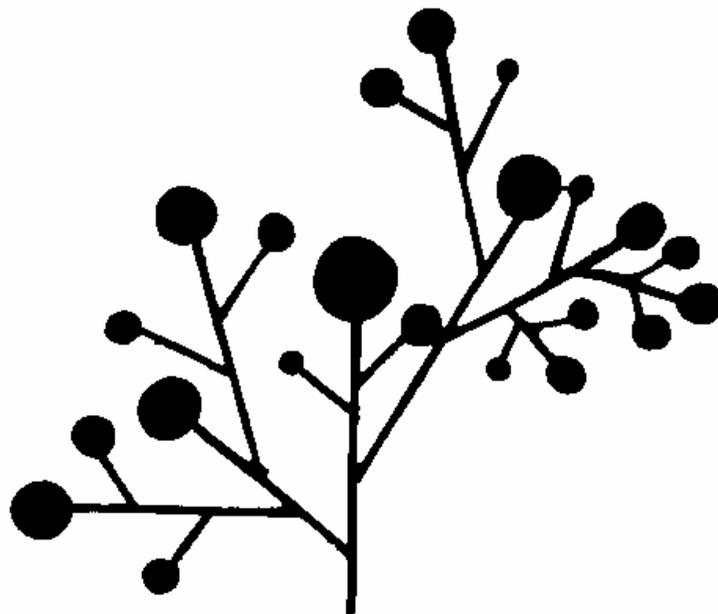


Figura 7. Representación diagramática de una inflorescencia de zarzamora.

* el símbolo de mayor tamaño dentro de una inflorescencia representa la flor más vieja-la primera en abrir

FUENTE: Moore y Skirvin, 1990.

Los frutos de mayor tamaño se producen en la flor primaria de la inflorescencia, todas las especies fructifican predominantemente en las terminales de las cañas (Figura 8), el peso de frutos individuales varía entre 5 y 10 gramos (Moore y Skirvin, 1990).



Figura 8. Fructificación de un retoño de zarzamora.
FUENTE: Moore y Skirvin, 1990.

Los insectos y el viento ayudan a la dispersión del polen de manera completa y uniforme en todos los pistilos de la flor, siendo éste un factor que afectan la calidad de las frutas, la cual no es del todo satisfactoria, debido a que no todas las flores son polinizadas y se obtienen frutas de menor número de drupeolos y por ende un menor tamaño, también las pesadas lluvias durante el período de floración pueden causar alteración, produciendo frutas malformadas (Moore y Skirvin, 1990).

Una vez ocurrida la fecundación se produce un importante incremento de la división celular y los frutos se desarrollan rápidamente entonces actúa como un sumidero de agua, sales y otros elementos; oscilando el período de floración a maduración entre 40 y 60 días dependiendo del cultivar. El manejo de las plantaciones influyen en características como es número y tamaño de drupeolos en la fruta (Díaz, 2002; Hobson, 1993; Moore y Skirvin, 1990; Muratalla *et al.*, 1999; Ryugo, 1993).

3.2.4. Cultivares.

Los cultivares de zarzamora se originaron de cruzar genéticamente las especies heterogéneas y morfológicamente variables, por lo que difieren en número y tamaño de drupeolos, calidad, sabor, requerimientos climáticos y hábito de crecimiento de la planta que comprende tres grupos: erectas, semierectas y rastreras o de guía (Cuadro 9) (Moore y Skirvin, 1990; Muñoz y Juárez, 1997; Muratalla *et al.*, 1999).

Cuadro 9. Cultivares de zarzamora, su origen y características.

Cultivares	Origen	Año de introducción	Habito de crecimiento	Características
Brazos	Texas	1959	Erecto	Alto vigor que obliga a establecer menos plantas/ha. Produce racimos pequeños, tarda 56 días de floración a fructificación, el fruto es grande de 2.5 cm de diámetro, con un peso de 6.8 g, semillas grandes, textura suave y contiene más de 12° Brix.
Comanche	Arkansas	1974	Erecto	Es firme, productiva, floración muy temprana (noviembre) y junto con Cheyenne son las más apropiadas para uniformizar la brotación, lo que reduce el período de cosecha, el fruto es pequeño de 2.2 cm de diámetro con un peso de 5.2 g menos aroma, más firmeza y dulzura.
Cherokee	Arkansas	1974	Erecto	El más erecto de los cultivares por ello es propio para la cosecha mecánica. Período de flor a fruto aproximadamente 50 días, los frutos son medianos a largos, firmes, baja acidez, buen sabor y el mas brillante.
Cheyenne	Arkansas	1976	Erecto	Plantas tempranas, grandes, firmes y productivas. Apertura floral a fines de febrero y marzo, la cosecha se inicia normalmente a finales de abril y se prolonga hasta finales de junio, el pico es en mayo.
Shawnee	Arkansas	1985	Erecto	El hábito de crecimiento lo expresa al segundo año pero con despunte de verano. Es el más tardío a la floración y su vigor es menor a los cultivares ya relacionados. Fruto grande de 7.2 g y de excelente sabor para consumo en fresco, firme, contiene semillas pequeñas y es de fácil cosecha.

Cuadro 9. Cultivares de zarzamora, su origen y características (continuación...)

Cultivares	Origen	Año de introducción	Habito de crecimiento	Características
Choctaw	Arkansas	1988	Erecto	Cultivar vigoroso, firme, precoz y de fácil cosecha, los frutos son medianos 5-6 g, semillas pequeñas y dulces.
Logan	California	1883	Rastrera	Variedad precoz, productiva, posee numerosas y robustas espinas generalmente ganchudas, la cosecha es de enero a febrero, el fruto es grande 6-8 g, suave, color marrón, textura suave, excelente sabor y aromático.
Olallie	Oregon	1956	Rastrera	Vigorosa, productiva, bajo requerimiento de frío, posee numerosas y robustas espinas generalmente ganchudas, su cosecha es en mayo-junio, el fruto es grande, firme y excelente para proceso.

FUENTE: Cano y Rodríguez, 1989; Moore y Skirvin, 1990; Muratalla *et al.*, 1993; Muratalla, *et al.* 1999.

En México debido a la variabilidad ambiental es posible el crecimiento y desarrollo de diferentes cultivares (Muratalla *et al.*, 1999). Debe tenerse en cuenta que un cultivar puede no desarrollar todas sus fases si crece en condiciones climatológicas diferentes a las de su región de origen (Villalpando y Corral, 1993).

En un clima templado moderado con presencia de heladas de octubre a marzo se desarrollan bien los cultivares *Cheyenne*, *Cherokee* y *Shawnee* éstos últimos son los más aptos para estos lugares, se observa los mayores crecimientos vegetativos y expresión reproductiva. Normalmente se tiene la apertura floral en marzo-mayo y la cosecha de mayo-agosto traslapandose con el período de lluvias (Muratalla *et al.*, 1999).

Ambiente templado moderado con presencia de heladas no continuas de octubre a febrero es el mejor para el cultivar *Cheyenne* ya que se adapta en crecimiento y rendimiento de fruto, la cosecha se prolonga hasta finales de junio teniendo un traslape con la cosecha de fruto final de las áreas subtropicales (Muratalla *et al.*, 1999).

En un ambiente templado sin heladas y subtropical se tiene la ventaja de cosechar desde octubre hasta mayo, los cultivares de mejor respuesta son *Brazos*, *Comanche*, *Choctaw* y *Cheyenne*, las primeras tres inician floraciones más tempranas que *Cheyenne*, aunque se presenta un período de floración largo (octubre-abril) (Muratalla *et al.*, 1999).

3.2.5. Composición nutricional.

El agua es el componente que se encuentra en mayor proporción en las frutas de zarzamora, con aproximadamente 85.6%, el contenido final depende de la que haya tenido disponible el tejido al efectuarse la cosecha, las variaciones diurnas de temperatura y humedad relativa hacen que oscile a lo largo del día por lo que la recolección de la mayor parte de los frutos conviene llevarla a cabo cuando el contenido en agua sea elevado. Su naturaleza acuosa las hace tener un alto índice de perecibilidad y su vida de anaquel es muy corta de dos a cinco días (Chávez-Franco, 1996; Hulme, 1970; Mitcham *et al.*, 1996; Wills *et al.*, 1998). Las semillas constituyen también una proporción relativamente alta, en 100 gramos se encuentran 3,180 semillas con un peso de 6.75 gramos (Hulme, 1970).

Tiene un excelente contenido de vitaminas, minerales, carbohidratos y fibra. Es una de las fuentes dietéticas más ricas en potasio, uno de los minerales más importantes en frutas y hortalizas cuya riqueza supera los 200 mg/100 g. Cuantitativamente la vitamina más importante es la C (ácido ascórbico), aproximadamente el 90% procede de frutas, tiene numerosos efectos beneficiosos relativos a la cicatrización de las heridas, el aporte es importante ya que los seres humanos no podemos sintetizarla, frecuentemente también ha estado involucrada en la prevención de ciertos desórdenes fisiológicos de frutos por sus efectos antioxidantes, por lo que también es ampliamente utilizado en su procesamiento industrial, el contenido de esta vitamina en el fruto se encuentra alrededor de 21 mg /100 g de porción comestible (Cuadro 10), que permanece bajo antes de que la coloración se empiece a desarrollar, después viene un aumento rápido seguido por un descenso en el final de este período. Esta composición al igual que la de los otros frutos depende principalmente del manejo que se de en campo a las plantaciones, se sabe que durante el desarrollo de los mismos se dan importantes cambios en los niveles (Hulme, 1970; Livera y Lagunes, 1999; Saucedo, 1999; Wills *et al.*, 1998).

Durante el manejo postcosecha el contenido de vitaminas y minerales es un parámetro de calidad importante, mantener la riqueza en el curso de la manipulación y el almacenamiento durante prolongados periodos, debe constituir una de las preocupaciones fundamentales durante estas operaciones (Kader, 1992; Wills *et al.*, 1998).

Cuadro 10. Componentes nutritivos por 100g de porción comestible de zarzamora.

Componente	Promedio	Componente	Promedio
Proteínas (g)	0.7	Fósforo (mg)	21
Grasas (g)	0.6	Hierro (mg)	0.9
Cenizas (g)	0.5	Zinc (mg)	0.3
Fibra (g)	6.8	Vitamina A Equiv. Totales (Mg.)	39
Carbohidratos totales (g)	12.6	B-caroteno Equiv. Totales (Mg.)	0.12
Energía (Kcal)	59	Tiamina (mg)	0.03
Colesterol (mg)	0	Riboflavina (mg)	0.04
Sodio (mg)	3.7	Niacina (mg)	0.4
Potasio (mg)	208	Vitamina C (mg)	21.0
Calcio (mg)	32		

FUENTE: FAO, 2006; Hulme, 1970.

3.2.6. Cosecha y postcosecha.

La maduración escalonada, aunada al carácter espinoso de la planta de zarzamora, hace que la cosecha sea delicada, pues hay frutos maduros y verdes en la misma, además por ser no climatéricos son cosechados en su estado de madurez. La tasa de respiración es alta, además el calor emitido durante el almacenamiento lo es también. Estas características, hacen que estas frutas sean altamente perecederas. Por ello, las labores de cosecha son las que más influyen en la rentabilidad, lo cuál implica hacer una cuidadosa planificación de la misma a fin de obtener el mayor beneficio posible (Muñoz y Juárez, 1997). Así, entre los principales factores a considerar en la cosecha y postcosecha destacan los siguientes:

- a) Oportunidad de la cosecha. El índice de madurez más usado es el color de la superficie del fruto que va de oscura a negra, también pueden tomarse en consideración la consistencia dura, firme, sabor (sólidos solubles y la acidez titulable) y facilidad de desprendimiento del pedicelo, es decir en la zona que se ubica el punto de inserción del receptáculo con el pedicelo, en este caso el fruto se separa de la rama sin ninguna estructura adicional ver Figura 1 (Chávez, 1999; Díaz, 2002; Mitcham *et al.*, 1996; Moore y Skirvin, 1990; Muñoz y Juárez, 1997; Westwood, 1982).
- b) Forma de la cosecha. El porcentaje de fruta de buena calidad dependerá mucho de la forma en que se realice la cosecha. Como regla general se recomienda cosechar en horas frescas, preferentemente por la mañana, pero una vez que se haya secado el rocío, nunca cuando llueva, ya que la humedad favorece el deterioro del fruto. Se deben desprender los frutos suavemente con el dedo pulgar sosteniendo con los demás dedos y colocarlos de inmediato en el envase de comercialización con el mayor cuidado, no hay que mezclar fruta sobremadura, con mohos o dañada (Muñoz y Juárez, 1997).

Cuando un envase esté lleno debe ponerse a la sombra de la vegetación hasta que esté completa la caja para llevarla al centro de acopio, ya que la exposición al sol incluso durante un tiempo corto afecta el color haciendo que la fruta se ponga roja y en ocasiones puede desarrollar sabores amargos (Chávez, 1999; Moore y Skirvin, 1990; Muñoz y Juárez, 1997; Muratalla *et al.*, 1999).

- c) Tipo de recipientes. Para la cosecha se recomienda usar cajas livianas de cartón (llamadas flats, charolas o bandejas), con capacidad de 6 a 12 cajitas conocidas como almejas o clamshell, de 200-250 g que deben ser preferentemente de plástico ya que permite un preenfriado más rápido (Muñoz y Juárez, 1997).
- d) Selección y empaque en campo. Deberá hacerse en el mismo campo del productor, ello con el fin de evitar la doble manipulación. En la almeja donde se colocaran debe adherirse una pequeña tela acojinada. Se recomienda empaquetar cada fruto asentado sobre su base, es decir, por el lado donde se encuentra el receptáculo, ello debido a que es una de las partes del fruto con mayor dureza, lo cual alarga la vida de anaquel. Deberá procurarse seleccionar por tamaño, evitando colocar en una misma almeja frutos de diferentes tamaños, a fin de mejorar la imagen del producto. Conforme se hayan llenado deberán irse colocando en los flats o charolas que se transportaran inmediatamente a las cámaras frigoríficas, con el objeto de eliminar el calor de campo y conservarlas hasta que sean enviadas a los mercados finales (Muñoz y Juárez, 1997).
- e) Eliminación del calor de campo. El manejo que ha mostrado ser más efectivo en prolongar la vida postcosecha de esta fruta es el que lleva a la rápida eliminación del calor de campo, mediante aire forzado y posterior almacenamiento de la fruta a temperaturas entre 0.6 y 0°C, con humedad relativa de 90 a 95% y el uso de envases adecuados, con capacidad máxima de 250 gramos. Además aumentando el nivel de CO₂ durante el período de almacenamiento se prolonga la vida útil de anaquel y se reduce el ablandamiento de la fruta. Un exceso tiende a afectar el sabor de la fruta pero es más efectivo que las bajas temperatura para inhibir el desarrollo de *Botrytis* (Moore y Skirvin, 1990; Muñoz y Juárez, 1997).
- f) Rápida comercialización. Debe ser muy estricta, pues en caso de registrarse rompimientos en la cadena de frío se puede provocar la pérdida del producto. Su vida de anaquel no es mayor a seis días, siempre y cuando se conserve la cadena de frío a lo largo de todo el proceso comercial y hasta la exhibición en anaquel a temperaturas de entre 0.6 y 0°C, con 90-95% de humedad relativa (Moore y Skirvin, 1990; Muñoz y Juárez, 1997).

3.3. Maduración.

El desarrollo completo de un órgano o tejido vegetal se divide en fases fisiológicas fundamentales: crecimiento, maduración, senescencia y abscisión o muerte que son inevitables aunque variables y que ocurren a diferente velocidad según la longevidad (Díaz, 2002; Wills *et al.*, 1998).

La maduración es un proceso complejo bajo estricta regulación génica, en la cuál un fruto ha alcanzado un estado suficiente de desarrollo, es considerada desde hace tiempo como la pérdida de la integridad celular de los tejidos que conduce eventualmente al envejecimiento y muerte de los mismos. Su velocidad y naturaleza difiere significativamente entre las especies de frutas, cultivares de las mismas especies, diferentes grados de madurez del mismo cultivar, zonas de producción y en sus respuestas a diversos ambientes de poscosecha; aun así es posible identificar ciertos fenómenos generales en relación al comportamiento (Almaguer, 1998; Díaz, 2002; FAO, 1987; Hobson, 1993; Kader, 1992; Wills *et al.*, 1998).

3.3.1. Madurez fisiológica, comercial y organoléptica.

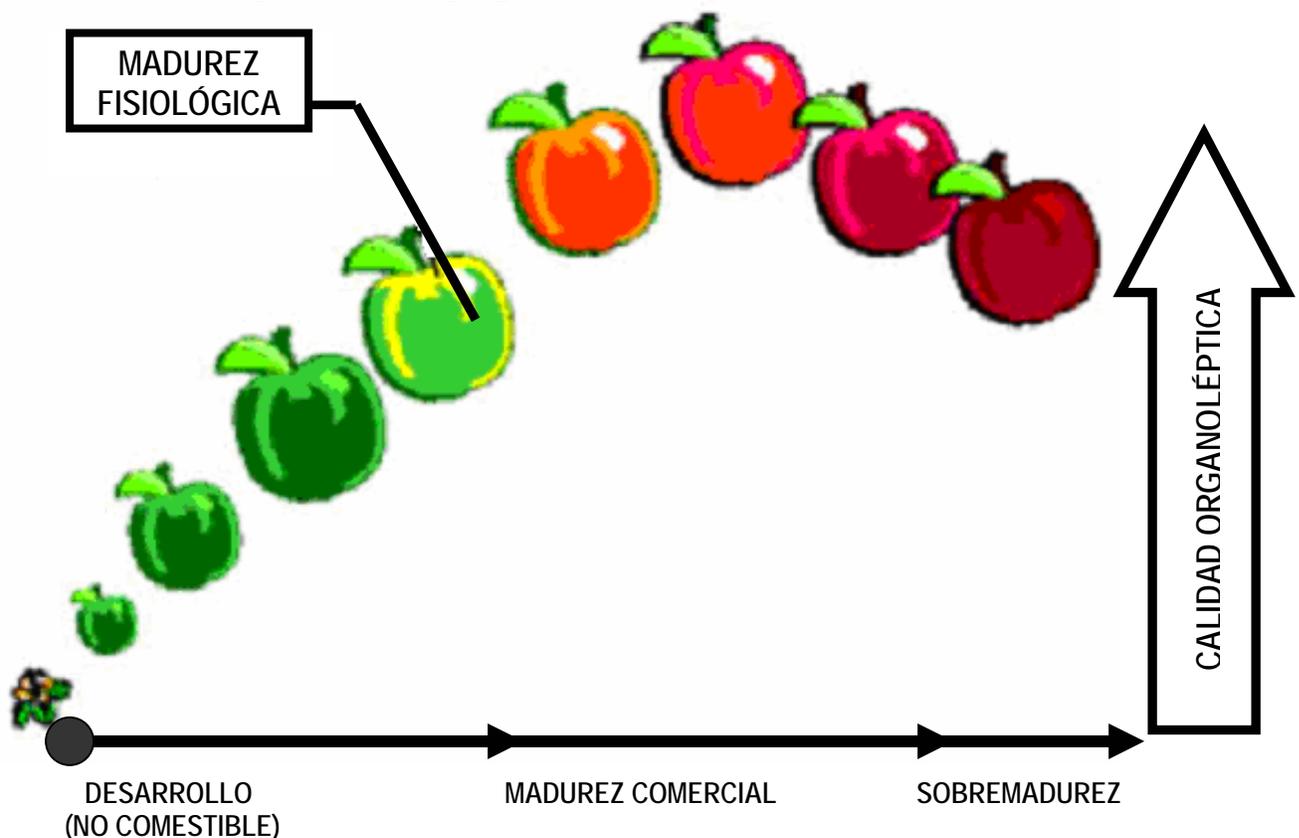


Figura 9. Calidad organoléptica de un fruto en función de su madurez.
FUENTE: López, 2003.

Este proceso implica diferentes fases: fisiológica, comercial y organoléptica que deben cumplirse en toda su magnitud para poder ofertar un producto de calidad comercial y comestible al consumidor. La madurez es un componente integral de calidad que tiene una gran influencia en el comportamiento postcosecha del fruto durante la comercialización, así como sobre la calidad organoléptica final (Díaz, 2002; Kader, 1992). Como regla general, cuanto más avanzada es la madurez menor es la vida postcosecha (López, 2003). El tipo de fruto y su forma de consumo definen la fase en que deberán cosecharse (Díaz, 2002; Mitcham *et al.*, 1996).

- **Madurez fisiológica.**

Es un determinado estado en el que se alcanza y finaliza el desarrollo completo de un fruto pero no necesariamente está listo para ser consumido (Figura 9) y suele iniciarse antes de que termine el crecimiento. Al crecimiento y maduración fisiológica suele hacerse referencia conjunta hablando de fase de desarrollo y sólo se completan cuando el fruto permanece unido a la planta. Ejemplos: manzano, durazno, pera, banano, mango, aguacate, piña, ciruela o uva, estos frutos se pueden transportar o almacenar alcanzando posteriormente su maduración de consumo regulando la velocidad por métodos físicos y químicos, generalmente los niveles de sólidos solubles en las vacuolas celulares se incrementan mientras la acidez se reduce, cambian de textura de firme y crujiente a suave y jugosa (Díaz, 2002; Hobson, 1993; Kader, 1992; López, 2003; Ryugo, 1993; Westwood, 1982; Wills *et al.*, 1998).

- **Madurez comercial.**

Es aquel estado fisiológico óptimo que el mercado exige que se encuentre un fruto, ya sea para consumo en fresco o para llevarle a procesamiento (Figura 9) el cuál se completa sólo en la planta y su calidad disminuye si se recolectan antes de que maduren completamente, pues su contenido en azúcares no sigue aumentando (FAO, 1993; López, 2003). Ejemplos: fresas, cerezas y zarzamoras, los cuáles se empacan y comercializan con el máximo cuidado y rapidez ya que son productos muy perecederos, su velocidad de maduración es difícil manipularla y es irreversible, su calidad no se puede mejorar pero se puede prolongar por almacenamiento en frío aunque no por mucho tiempo (Almaguer, 1998; Díaz, 2002; Mitcham *et al.*, 1996; Moore y Skirvin, 1990; Ryugo, 1993; Westwood, 1982; Wills *et al.*, 1998).

- **Sobremadurez.**

Es el estado siguiente a la madurez comercial (Figura 9) y, la preferencia por parte de los consumidores disminuye, fundamentalmente porque el fruto pierde turgencia, sabor y aroma característicos, sin embargo es el punto adecuado para la elaboración de dulces o salsas (López, 2003).

- **Madurez organoléptica.**

Se refiere al proceso por el que un fruto en estado fisiológicamente maduro, alcanza su calidad comestible óptima adquiriendo las características organolépticas (color, sabor, aroma, textura, firmeza, entre otros) que lo definen como comestible (Figura 9), estos cambios son irreversibles y comienzan desde las últimas etapas del desarrollo hasta las primeras fases de la senescencia, en algunos casos coincide con el comienzo del climatérico y pueden tener lugar postcosecha (Díaz, 2002; Hobson, 1993; FAO, 1987; FAO, 1993; Westwood, 1982; Wills *et al.*, 1998).

3.3.2. Cambios durante la maduración.

Cuando un fruto inmaduro se convierte en uno maduro ocurren una serie de cambios físicos, químicos y fisiológicos coordinados en su metabolismo (Cuadro 11) que traen como consecuencia modificaciones cualitativas y cuantitativas de color, consistencia, olor, sabor y textura que deben cumplirse en toda su magnitud para que después de la cosecha y del manejo postcosecha su calidad sea, por lo menos, la mínima aceptable por el consumidor (Díaz, 2002; Hobson, 1993; Kader, 1992).

El sabor es uno de los atributos de calidad más importantes ya que involucra la producción de una mezcla compleja de compuestos volátiles que interaccionan con la producción de otros constituyentes mayoritarios, especialmente carbohidratos, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos. El almacenamiento incorrecto y la sobremaduración de los frutos puede inducir la formación de componentes con sabores desagradables (Hobson, 1993).

Los cambios en la maduración de zarzamora son sensorialmente notorios, entre los principales se encuentra: pérdida de firmeza, aumento de la relación °Brix/acidez, síntesis de antocianinas, azúcares y color (Barrera, 2003).

Cuadro 11. Cambios fisiológicos y fisicoquímicos en tejidos de frutos durante la maduración.

Cambios	Atributos de calidad
1. Maduración de semilla	
2. Cambio de pigmentación	Color
a. Degradación de clorofila	
b. Síntesis de carotenoides	
c. Síntesis de antocianinas	
3. Pérdida de firmeza	Consistencia
a. Cambios en composición de pectinas	
b. Alteración de otros componentes de pared celular	
c. Hidrólisis de compuestos almacenados	
4. Cambios en composición de carbohidratos	Sabor
d. Conversión de almidón a azúcar	
e. Interconversión de azúcares	
4. Producción de compuestos aromáticos	
5. Cambios en contenido de ácidos orgánicos	
6. Caída de fruto	
7. Cambio en el patrón respiratorio	
8. Cambio en la velocidad de síntesis de etileno	
9. Cambios en permeabilidad de tejidos	
10. Cambios en las proteínas	
11. Desarrollo de ceras en la superficie	

FUENTE: Díaz, 2002; Wills *et al.*, 1998.

3.3.2.1. Cambios fisiológicos.

Se considera que la respiración junto con la síntesis de etileno constituyen los procesos iniciadores de la maduración, los cuáles actúan de manera simultánea (Díaz, 2002; Wills *et al.*, 1998).

3.3.2.1.1. Patrón de respiración.

El proceso de respiración es fundamental tanto en el desarrollo de un fruto adherido al árbol como en uno recolectado. Mientras se encuentra en el árbol, los sustratos para la respiración se derivan principalmente de la fotosíntesis; después de cosechado, los sustratos serán sólo aquellos almacenados en el fruto como azúcares (glucosa), almidón, proteínas, grasas, lípidos y ácidos orgánicos. Al avanzar la edad de un fruto en postcosecha, éste continúa respirando y entonces estará agotando las reservas en sus tejidos hasta inducirse la degradación (Díaz, 2002; Lira, 1994).

Aun cuando todos los frutos respiran durante su desarrollo y maduración, la dinámica de esa respiración es diferente según la edad del fruto. Al inicio del crecimiento cuando hay mucha división celular, la actividad respiratoria por unidad de peso es muy alta para después reducirse de manera gradual y mantenerse baja hasta que se inicia la maduración. A partir de esta última fase los distintos tipos de frutos muestran un diferente patrón de respiración. (Almaguer, 1998; Díaz, 2002; Wills *et al.*, 1998).

Respiración climatérica. La velocidad de respiración de los frutos llega con lentitud a valores bajos inmediatamente antes del comienzo de la maduración, después tienen un aumento significativo en la tasa respiratoria su intensidad y duración resulta diferente según la especie frutal es esta etapa la que coincide con el momento en que se alcanza el máximo tamaño del fruto, y cuando se llega a la cima del aumento corresponde al estado óptimo de madurez de consumo o muy cercano a él o bien para almacenamiento, posteriormente desciende cuando finaliza la maduración (Figura 10). La caída posclimatérica de la respiración indica el inicio de un metabolismo degradativo (catabolismo) y los frutos comienzan a perder su calidad de consumo y capacidad de almacenamiento. Todos los eventos metabólicos de la maduración en los frutos climatéricos pueden ocurrir tanto si el fruto está o no adherido al árbol pero en general ocurren con mayor velocidad cuando se les separa de la planta. Como frutos climatéricos están el aguacate, mango, banano, manzano, durazno, pera, higo, guayaba, papaya, ciruelo, melón y tomate (Díaz, 2002; FAO, 1993; Hobson, 1993; López, 2003; Westwood, 1982; Wills *et al.*, 1998). Para mercados distantes estos frutos deben ser cosechados lo más inmaduros posible, pero siempre luego de que han alcanzado la madurez fisiológica, ya que pueden madurar natural o artificialmente (López, 2003).

Respiración no climatérica. La respiración de los frutos decrece lentamente desde la antesis y se mantiene baja durante la maduración por lo que los cambios relacionados ocurren a un ritmo más lento, logrando madurar sin aumento respiratorio ver Figura 10 (Díaz, 2002; Hobson, 1993; Pantastico, 1975). Algunos ejemplos son cerezo, uva, zarzamora, frambuesa, fresa, cítricos, tuna, piña, fresa y tomate de árbol (Díaz, 2002) que se cosechan en madurez de consumo (Muñoz y Juárez, 1997).

El fruto de zarzamora tiene una velocidad de respiración considerada como alta, a 0, 5, 10 y 20°C, con una producción de 11, 20, 31 y 78 mL CO²/kg.h respectivamente (Díaz, 2002; Kader, 1992; Mitcham *et al.*, 1996; Wills *et al.*, 1998).

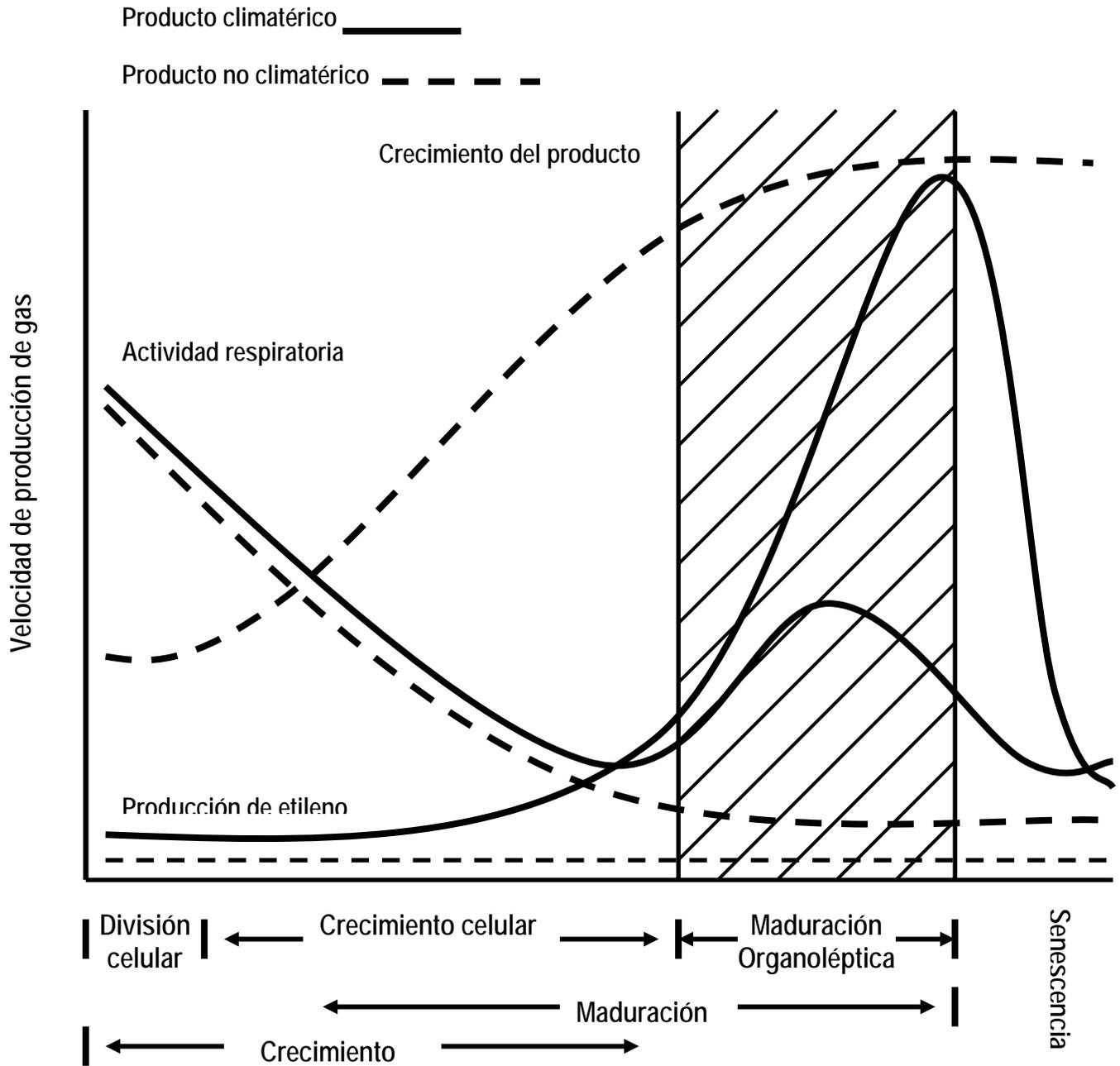


Figura 10. Pautas de crecimiento, respiración y producción de etileno de órganos vegetales climatéricos y no climatéricos.

FUENTE: Wills *et al.*, 1998.

3.3.2.1.2. Síntesis de etileno.

El etileno es la única hormona que está claramente implicada en la iniciación y continuación de la maduración, por ello su producción es importante para regular el proceso aunque se necesita una concentración umbral y un determinado estado del producto para que pueda haber efectos. Otros cambios inducidos por el etileno es la degradación de clorofila y la textura (Almaguer, 1998; Díaz, 2002; Hobson, 1993; Pantastico, 1975; Ryugo, 1993; Westwood, 1982; Wills *et al.*, 1998).

Todos los frutos producen distintas concentraciones internas de etileno a lo largo de las diversas etapas del desarrollo y la maduración, la síntesis de la hormona es baja durante el crecimiento, pero justo antes de que se inicien los diversos cambios relacionados con la maduración (incluyendo respiración) presentan comportamientos diferentes que junto con la sensibilidad de los tejidos al etileno ofrecen un segundo criterio de distinción entre frutos de comportamiento climatérico y no climatérico, (Díaz, 2002; Hobson, 1993; Wills *et al.*, 1998). La cantidad de etileno producida varía entre las especies alcanzando valores más altos los climatéricos que los no climatéricos (Díaz, 2002).

En frutos climatéricos hay un aumento significativo en la síntesis de etileno (Figura 10) aunque no necesariamente son los que muestran más respiración durante su maduración, la síntesis de la hormona es autocatalítica o sea que etileno induce a la formación de más etileno (Díaz, 2002; Hobson, 1993; Wills *et al.*, 1998). La concentración interna de etileno en estos frutos, a lo largo de las diversas etapas del desarrollo y la maduración varía ampliamente (Wills *et al.*, 1998).

Los frutos no climatéricos, por el contrario, no son sensibles al etileno (Figura 10) no incrementan la respiración (Hobson, 1993). La concentración interna, no varía en estos frutos, en los que apenas se diferencian las tasas reinantes durante el desarrollo y las alcanzadas durante la maduración (Wills *et al.*, 1998). En este caso la síntesis del etileno es no autocatalítica ya que tienen un patrón normal según el nivel de precursores. La divergencia en el comportamiento de frutos no climatéricos es más obvia, ya que la velocidad de maduración en algunos casos puede ser tan rápida como en los frutos climatéricos o puede retrasarse varios meses en otros (Díaz, 2002; Hobson, 1993). La tasa de producción de etileno en zarzamora es de 0.1-1.0 mL/kg.h a 5°C (41°F) se empieza a elevar tan pronto la fruta empieza a cambiar de color y alcanza su máximo cuando está totalmente madura (Mitcham *et al.*, 1996).

La importancia del etileno como inductor de la maduración de frutos está comprobada por el efecto originado al aplicar exógenamente la hormona, la cantidad requerida es variable según el tipo de fruto y el grado de madurez que influye en la respuesta de tal forma que entre mas avanzada esté entonces la cantidad requerida se va reduciendo (Hobson, 1993; Westwood, 1982). En general se acelera la respiración, pero esta respuesta está condicionada por la especie, el cultivar, el estado de maduración, el hecho de haber sido recolectado o no y por la concentración y duración de la aplicación (Hobson, 1993; Westwood, 1982). La biosíntesis de la hormona define en parte las respuestas señaladas en cuanto al efecto de la aplicación de etileno a los frutos sobre su respiración (Díaz, 2002).

El tratamiento con etileno exógeno en frutos climatéricos anticipa el comienzo del incremento respiratorio en comparación a frutos no tratados, donde la respuesta está en función de la dosis aplicada. La sensibilidad de los frutos a la exposición es mayor justo antes del inicio del aumento normal respiratorio, ya que una vez iniciado la aplicación posterior de etileno no tiene mayor efecto en la promoción de la maduración. En estos frutos, la resistencia a la maduración se supera más fácilmente, el incremento respiratorio se extiende por más tiempo y se estimula el mecanismo de biosíntesis de etileno del fruto (autocatálisis) (Hobson, 1993). Además los frutos pueden ser transportados a mercados lejanos, donde se provoca su maduración en condiciones controladas, solo que hay que tener cuidado con la producción natural de etileno ya que puede desencadenar la maduración prematura de los frutos (FAO, 1993; Liu, 1992).

En el caso de frutos no climatéricos el tratamiento con etileno produce un incremento en la respiración, respuesta que resulta directamente proporcional a la concentración aplicada. Cuando estos frutos se transfieren de nuevo a una atmósfera con aire, la respiración desciende a su valor inicial. En estas especies, el aumento en la respiración sólo se produce en presencia de etileno y su producción endógena no modifica, permaneciendo siempre en niveles reducidos (Díaz, 2002; Hobson, 1993; Westwood, 1982; Wills *et al.*, 1998). Con la influencia de etileno, la respiración promueve la síntesis de antocianinas en postcosecha, durante los primeros días, pero después el contenido se degrada, disminuye y se presenta una decoloración. Es incrementado en la maduración del fruto antes de la cosecha y aún después durante el almacenamiento de los mismos (Díaz, 2002). En frutos de zarzamora no ha mostrado efectos en la velocidad de maduración (Mitcham *et al.*, 1996).

La sensibilidad de los frutos al etileno, se reduce durante el almacenamiento a bajas temperaturas, con el incremento de los niveles de CO₂, (Inhibiendo la respiración) o disminuyendo la presión parcial de oxígeno (que inhibe la respiración y la síntesis de etileno) (Hobson, 1993).

3.3.2.2. Cambios fisicoquímicos.

Una vez iniciado el proceso de respiración y la síntesis de etileno ocurren diversos cambios fisicoquímicos (Cuadro 11) que son importantes ya que sirven de indicadores para la época de cosecha, de parámetros para las técnicas de almacenamiento y resultan útiles para caracterizar el nivel de la calidad del producto al ser adquiridas por el consumidor (Almaguer, 1998; Díaz, 2002; Hobson, 1993; Pantastico, 1975; Westwood, 1982; Wills *et al.*, 1998).

- **Carbohidratos.**

Unos de los cambios químicos más representativos en la maduración de frutos es la degradación de los carbohidratos que pasan de almidón a azúcares simples para dar el dulzor (Díaz, 2002; Pantastico, 1975; Wills *et al.*, 1998).

La presencia de azúcares en los frutos es importante define aspectos de calidad y tiene el doble efecto de alterar tanto el sabor como la textura del producto, así como de almacenamiento (Díaz, 2002; Wills *et al.*, 1998).

En frutos carentes de almidón como la zarzamora el desarrollo de una calidad comestible óptima se halla asociado a la acumulación de azúcares, en este caso no proceden de la degradación de sus reservas amiláceas, sino de la savia que llegó al fruto, por lo que necesitan mantenerse en la planta durante toda su maduración para alcanzar niveles adecuados en los drupeolos que se hace a medida los frutos alcanzan su tamaño completo y finaliza en los días previos a la cosecha, de tal modo que si se recolectan en estado inmaduro no desarrollan todo su sabor (Almaguer, 1998; Díaz, 2002; Hobson, 1993; Ryugo, 1993; Wills *et al.*, 1998).

El tipo de azúcares presentes durante los cambios de maduración puede variar según los frutos (Díaz, 2002). La sacarosa y el sorbitol un alcohol azúcar, son dos de los principales carbohidratos traslocables en la familia de las Rosáceas (Ryugo, 1993). En frutos que no producen almidón deben la mayor parte de su aumento de dulzor a la conversión de sorbitol en fructosa, el más dulce de los azúcares comunes y, de la disminución en el contenido de ácidos, que reducen el sabor agrio presente en los frutos inmaduros (Westwood, 1982).

La degradación de los hidratos de carbono, especialmente de las sustancias pécticas y las hemicelulosas, debilita las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen unidas unas células a otras. En los estadios iniciales, mejora la textura, pero finalmente las estructuras vegetales se desintegran. La protopectina es el precursor insoluble de las sustancias pécticas. Durante la maduración de los frutos, la protopectina va gradualmente degradándose a fracciones de peso molecular más bajo, más solubles en agua. La velocidad de degradación de las sustancias pécticas está directamente correlacionada con el ablandamiento de los frutos (Díaz, 2002; Wills *et al.*, 1998).

- **Ácidos orgánicos.**

La presencia de ácidos orgánicos en los frutos es importante para su sabor característico que exige un balance adecuado con los azúcares, generalmente uno o dos son los que predominan según la especie. Antes de la maduración están en elevadas concentraciones y reducen su contenido en la medida que se desarrolla este proceso y en particular cuando se inicia el aumento de azúcares libres (Almaguer, 1998; Díaz, 2002; Hobson, 1993; Pantastico, 1975; Wills *et al.*, 1998). La reducción del contenido se debe a que se les utiliza como sustratos para la respiración o son convertidos en azúcares y a la formación final de nuevas estructuras químicas a base de carbono, así como a una dilución en cuanto a que el fruto tiene mayor tamaño. Una reducción de los ácidos orgánicos no significa necesariamente un aumento en el pH (Díaz, 2002).

Hulme (1970) mencionó que la segunda contribución más grande en las bayas son los ácidos orgánicos. En zarzamora el ácido dominante es el isocítrico (Wills *et al.*, 1998).

- **Fenoles.**

Los fenoles resultan importantes pues también constituyen compuestos implicados en el sabor de los frutos, así como en el proceso de ennegrecimiento de sus tejidos además forman parte de los pigmentos (Díaz, 2002; Hobson, 1993). Proporcionan acidez, astringencia y amargor que restringen el consumo de los frutos hasta que alcanzan la maduración durante la cuál decrece la concentración, aunque a menudo la cantidad por fruto puede incrementar (Hobson, 1993; Pantastico, 1975; Westwood, 1982). Los frutos contienen una amplia colección de compuestos fenólicos muchos de ellos presentes en altas concentraciones, dentro de una misma especie varía ampliamente dependiendo de la variedad y de las condiciones ambientales. Sus funciones están relacionadas con la protección frente a las heridas, participan también en la resistencia a las enfermedades y son indicadores de la maduración del fruto (Hobson, 1993).

- **Compuestos Volátiles.**

El aroma de los frutos representa una de las principales características de cada especie, el cuál es regulado por la síntesis de varios compuestos volátiles que se forman durante la maduración y que son emitidos en cantidades perceptibles detectados por el olfato (Almaguer, 1998; Díaz, 2002; Hobson, 1993; Pantastico, 1975; Ryugo, 1993; Westwood, 1982; Wills *et al.*, 1998). Los frutos no climatéricos producen estos compuestos no tan aromáticos, sin embargo tienen importancia en la determinación del grado de aceptación por el consumidor (Wills *et al.*, 1998). Los constituyentes volátiles pueden reducirse o perderse durante un largo almacenamiento, si se mantienen en el ambiente o se procesan, afectando el sabor del fruto (Ryugo, 1993; Westwood, 1982).

- **Pigmentos.**

Durante la maduración de los frutos se degradan y sintetizan, ciertos pigmentos, de tal modo que la ausencia progresiva de color verde en la mayoría de ellos y la aparición de colores rosa, rojo, azul, púrpura, naranja o amarillo caracteriza este proceso fisiológico (Díaz, 2002; Pantastico, 1975). El color es con frecuencia el más importante de los criterios utilizados por los consumidores para decidir si la fruta está o no madura (Wills *et al.*, 1998).

El color verde de los frutos jóvenes inmaduros se debe a la presencia de clorofila en sus células epidérmicas y subepidérmicas, el cuál se degrada durante la maduración la pérdida puede deberse a uno o a varios factores actuando secuencialmente como cambios en el pH (debidos principalmente a la fuga de ácidos orgánicos al exterior de la vacuola de almacenamiento en las células), el desarrollo de procesos oxidativos (Hobson, 1993; López, 2003; Wills *et al.*, 1998). Después de que desaparece la clorofila y el color verde de la fruta, hay un cambio de color en la piel o en las capas parenquimáticas, que se debe a la síntesis de pigmentos como los carotenoides y las antocianinas y/o a la desenmascaración de una o varias clases de pigmentos que ya estaban presentes pero no podían expresarse. El momento en que se forman los pigmentos de color varía con las especies, para muchas de ellas es necesario que el fruto esté adherido al árbol mientras que en otros pueden hacerlo después de separado de la planta. La presencia progresiva de color en la fruta coincide en muchos casos con otros cambios de maduración como la respiración (Díaz, 2002; Hobson, 1993; Ryugo, 1993; Westwood, 1982; Wills *et al.*, 1998).

Las frutas de zarzamora adquieren el color adheridas al árbol, éste varía entre los cultivares del rojo al púrpura, estando involucrados como pigmentos las antocianinas que son hidrosolubles y se les localiza en todo el fruto, el tipo cianidina le proporciona el color (Díaz, 2002; Ryugo, 1993) inician su acumulación desde que los tejidos se encuentran jóvenes aumenta en la maduración lográndose la mayor cantidad cuando el fruto se encuentra maduro (Hobson, 1993; Ryugo, 1993; Westwood, 1982). Los frutos de algunas especies son exigentes en cuanto a la exposición directa del sol para formar la antocianina, mientras que en otros tal exposición no resulta tan crítico (Díaz, 2002; López, 2003). La presencia de azúcar en el tejido es importante para la síntesis, ya que son los compuestos precursores de la fenilalanina; de ahí que sea crítico tener un buen follaje y una adecuada fotosíntesis para la formación del pigmento (Díaz, 2002).

- **Textura.**

El ablandamiento de los tejidos de un fruto es uno de los últimos cambios importantes durante la maduración que ocurre una vez han finalizado los de composición, es un proceso irreversible y su importancia se debe a que afecta la comestibilidad, la capacidad de almacenamiento o transporte y su posible transformación (Díaz, 2002; Hobson, 1993).

La pérdida de firmeza de los frutos se debe en principio a la pérdida de rigidez estructural de la pared celular. Durante la maduración se disuelve la laminilla media de la pared celular, se destruyen todos sus componentes, aumenta el contenido de pectinas solubles, y se reduce el contenido de las insolubles, estos cambios en la estructura de la pared junto con la pérdida de turgencia de las células, la degradación de productos de reserva y la presencia de microorganismos que pueden actuar en la eliminación de pectinas, son alteraciones que conllevan al ablandamiento excesivo del fruto y a un aumento en la susceptibilidad a los daños mecánicos (Almaguer, 1998; Díaz, 2002; Hobson, 1993; Pantastico, 1975; Westwood, 1982; Wills *et al.*, 1998). En el ablandamiento de la pulpa también influyen los cambios hídricos de los constituyentes celulares durante la maduración, pero su influencia es menor al de las alteraciones de la pared celular; en general la pérdida de agua en el fruto reduce la firmeza de los tejidos (Díaz, 2002).

Los cambios en la textura reflejan otra faceta del papel de la pared celular durante el desarrollo de la planta (Hobson, 1993).

3.3.3. Índices de madurez.

El momento indicado para iniciar la cosecha de frutos en un huerto esta definida por ciertos componentes cualitativos conocidos como índices de madurez (Cuadro 12) que deben considerarse para que los frutos puedan almacenarse, empacarse o transformarse sin perder significativamente sus características organolépticas y lleguen al consumidor en la condición deseada (Díaz, 2002; Kader, 1992; Ryugo, 1993).

Cuadro 12. Índices de madurez para frutas y hortalizas.

a) Índices visuales

- Color de la cáscara
 - Forma del fruto
 - Dehiscencia de la cáscara
-

b) Índices físicos

- Facilidad de abscisión o separación del fruto
 - Textura de la pulpa (Penetrometría, patrones de vibración, módulos de elasticidad, etc.)
 - Tamaño del fruto (diámetro, longitud, peso, etc.)
 - Gravedad específica
 - Relación pulpa / cáscara o pulpa / hueso
 - Porcentaje de jugo (Principalmente cítricos)
 - Color de la cáscara medida por medios físicos (reflectancia mediante Hunter LAB, transmitancia, densidad óptica).
-

c) Índices químicos

- Contenido de sólidos solubles totales (°Bx)
 - Contenido de pigmentos (clorofila, carotenoides o antocianinas)
 - Contenidos de ácidos orgánicos
 - Contenido de azúcares
 - Contenido de grasas
 - Contenido de jugo
 - Contenido en aceites
-

d) Índices a base de cálculos

- Días después de la plena floración o amarre
 - Cuantificación de unidades calor durante el desarrollo
-

e) Índices fisiológicos

- Intensidad respiratoria del fruto
-

FUENTE: Kitinoja y Kader, 1996; Pantastico, 1975.

La búsqueda de índices de madurez objetivos ha sido promovida debido a la necesidad de conocer si un fruto está maduro o no y del mejor método de separación del árbol o planta, esto incluye el requerimiento de una evaluación de la madurez como parte del grado de calidad, una determinación cuantitativa de alguna característica que se sabe cambia a medida que el producto madura, los intereses finales de los consumidores y las ventajas económicas que implica la cosecha temprana o tardía, así como la planificación de la cosecha antes de tiempo (Kader, 1992; Wills *et al.*, 1998).

Si los frutos se cosechan en madurez temprana pueden carecer del sabor apropiado, es posible que no maduren adecuadamente por lo que resultan de mala calidad, se tornan propensos a daños fisiológicos durante el almacenamiento especialmente se vuelven más susceptibles a las bajas temperaturas; por otra parte, los cosechados tardíamente pueden ser demasiado fibrosos o estar sobremaduros, puede aumentar su susceptibilidad a la pudrición lo que afecta su calidad, disminuyendo el tiempo de vida útil del producto (Kader, 1992).

Al buscar un método para determinar la madurez se deben considerar los siguientes puntos:

- a) Las mediciones deben ser una determinación cuantitativa, simples, rápidas, fáciles de llevar a cabo en el campo y requerir equipo relativamente barato.
- b) Debe relacionarse de la misma forma a la calidad y vida postcosecha del producto sin que importen los productores, presentar un cambio progresivo con incrementos en la madurez de manera que pueda predecirse la fecha de maduración (Kader, 1992; Wills *et al.*, 1998).

El enfoque apropiado para apreciar la madurez se encuentra en la combinación de varios índices, los cuáles variarán según sea el destino del producto en cuanto a mercado fresco cercano o lejos, consumo nacional o exportación, para uso en fresco o para procesado, en algunos casos es necesario definir para cultivos específicos, áreas de producción y temporadas, se recomienda al menos tres, o en todo caso, determinar con exactitud cuál es el que más se correlaciona con la madurez y alcanza mayor confiabilidad, antes de señalar la fecha de cosecha (Almaguer, 1998; Díaz, 2002; Kader, 1992; Pantastico, 1975; Ryugo, 1993).

La mayoría de los índices de madurez también son factores de calidad, pero hay muchos índices de calidad que no se utilizan para determinar el estado óptimo de cosecha. La calidad final de consumo de las frutas y vegetales no puede ser determinada en forma precisa únicamente por factores de apariencia, debe buscarse un punto medio entre la madurez y la calidad óptimas (Kader, 1992).

3.3.3.1. Índices visuales.

Los métodos visuales para determinar la madurez de frutos (Cuadro 12) se utilizan a pequeña escala, en plantaciones grandes, se vuelven tediosos e inseguros (Almaguer, 1998; Kitinoja y Kader, 1996; Pantastico, 1975).

- **Color.**

En numerosos frutos, la pérdida gradual del color verde intenso frecuentemente designado como color de fondo para dar lugar a una tonalidad verde más clara o a la expresión de pigmentos de color, constituye el primer indicio visual de que el proceso de la maduración ha comenzado y puede constituir un buen índice del grado de madurez (Díaz, 2002; López, 2003; Ryugo, 1993; Westwood, 1982; Wills *et al.*, 1998). El fruto de zarzamora es uno de los ejemplos más representativos respecto al cambio de color como índice de corte, el cuál se va superponiendo sobre el color de fondo a medida que maduran (en el árbol) para formar el llamado color de superficie característico del fruto, aunque no puede ser muy confiable ya que pueden desarrollar color antes de que estén totalmente maduros y con las mejores características de calidad (Chávez, 1999; Mitcham *et al.*, 1996; Moore y Skirvin, 1990; Westwood, 1982).

- **Forma.**

La forma del los frutos puede ser importante desde el punto de vista económico, en algunos casos, puede utilizarse como índice de madurez (Westwood, 1982; Wills *et al.*, 1998). La medida más conveniente para expresar la forma del fruto es la relación entre el *diámetro y largo* que puede dar una idea de la longitud relativa del fruto: los valores más elevados los proporcionan los frutos más alargados. Todos los frutos son relativamente más alargados al comienzo de la estación de crecimiento, disminuyendo la relación a lo largo de la misma y estabilizándose finalmente antes de la recolección (Westwood, 1982).

3.3.3.2. Índices físicos.

La firmeza y el tamaño (Cuadro 12) han sido utilizados como criterios de cosecha. La facilidad relativa con que se separa el fruto del árbol que también se práctica aunque es subjetivo (Díaz, 2002; Pantastico, 1975; Wills *et al.*, 1998).

- **Fuerza de remoción de los frutos.**

La fuerza requerida para separar el fruto de su pedicelo se mide con un aditamento de harnés y un manómetro. Existen grandes variaciones en la fuerza de remoción de frutos a frutos en el mismo árbol (Ryugo, 1993).

- **Firmeza.**

A medida que los frutos maduran hay una pérdida de textura en los tejidos, característica de calidad importante. Se considera que la firmeza de la pulpa ayuda a conocer el estado de madurez y el punto de corte de la fruta del árbol, que puede valorarse subjetivamente presionando con el dedo pulgar o de manera objetiva haciendo una prueba que consiste en someter el fruto a presión externa y observar el punto en el cual la pulpa se rinde, o el grado en se vuelve deforme, este método está basado en el principio de que mientras más maduro es el fruto, mayor será el grado de distorsión a una presión dada, la resistencia de la pulpa de un fruto a la presión se determina mediante el uso de un penetrómetro instrumento que mide la resistencia a la penetración de un émbolo de diámetro estándar a lo largo un trayecto también estandarizado, generalmente es común en ciruelos y peras (Almaguer, 1998; Chávez-Franco, 1996; Díaz, 2002; Pantastico, 1975; Ryugo, 1993; Wills *et al.*, 1998). Aun cuando esta medida es útil para muchos otros frutos como manzana, durazno, cítricos no se considera como un parámetro efectivo y veraz para establecer la época de corte ya que los valores obtenidos son afectados por muchos factores como posición del fruto en el árbol y entre árboles en una huerta así un valor promedio no puede ser una característica confiable para empezar a cosechar, método de la medición, tamaño del fruto, carga y vigor de los árboles, entre otros. En frutos almacenados, la firmeza si se considera como un parámetro útil para conocer el estado de maduración del mismo (Díaz, 2002; Ryugo, 1993).

- **Tamaño.**

El tamaño tiene generalmente un valor limitado como índice de madurez de las frutas, comúnmente es utilizado para decidir si el fruto es comerciable, pero no necesariamente para determinar la maduración, por lo que no puede ser una medida muy útil de la calidad. Algunos frutos grandes pueden estar todavía muy verdes para ser cosechados, mientras que algunos de los frutos pequeños ya pueden estar demasiado maduros (Almaguer, 1998; Díaz, 2002; Pantastico, 1975; Wills *et al.*, 1998).

El diámetro también se usa para algunos cultivares, pero no es un buen criterio debido a que el tamaño de cosecha varía con factores tales como carga de cosecha y fertilidad de suelo. Por lo tanto el diámetro no está estrechamente relacionado con la maduración (Díaz, 2002; Wills *et al.*, 1998).

La combinación del tamaño y la forma se reflejan en el volumen que es muy útil para la determinación del grado de madurez comercial de algunos productos (Wills *et al.*, 1998). Las zarzamoras están lista para la recolección cuando las drupitas hay alcanzado su tamaño máximo (Westwood, 1982).

- **Gravedad específica.**

A medida que el fruto madura, los sólidos totales y, por consiguiente, el peso específico, aumentan. Por lo tanto, fue propuesto que la determinación de gravedad específica podría utilizarse como un método rápido para definir la madurez. La fruta que flotará en el agua tendría el peso específico más bajo y, por lo tanto, es inmaduro. Aquellos que se hunden tienen pesos específicos más grandes que uno, sólidos solubles totales más altos, por lo tanto son maduros. Aunque el uso del peso específico para determinar la madurez es dudoso (Enciclopedia Agropecuaria Terranova, 1995; Pantastico, 1975).

- **Color de la cáscara.**

El color, se puede determinar objetivamente, mediante el empleo de algunos de los numerosos tipos de espectrofotómetros de reflectancia o transmitancia existentes. Para la investigación, se usan los colorímetros Hunter y Minolta, que miden el color en la superficie (Wills *et al.*, 1998).

3.3.3.3. Índices químicos.

La determinación del contenido de ciertos compuestos químicos en los frutos son parámetros medibles y constituyen índices muy utilizados para decidir la época de corte (Cuadro 12), están relacionados con las sensaciones que despierta el consumo por lo que resultan también importantes cuando los frutos van a ser utilizado para procesamiento industrial (Almaguer, 1998; Díaz, 2002; Enciclopedia Agropecuaria Terranova, 1995; Pantastico, 1975; Wills *et al.*, 1998).

El pH, la acidez titulable y los sólidos solubles contribuyen al sabor de la fruta, y aunque el pH del jugo varía muy levemente entre cultivares, la acidez titulable y los sólidos solubles si varían considerablemente entre los mismos, siendo un comportamiento más o menos uniforme la disminución de la acidez titulable y el incremento de los sólidos solubles durante la maduración y almacenamiento (Piña, 2000).

En las zarzamoras durante el proceso de madurez el peso y el porcentaje de sólidos solubles se incrementan y la acidez titulable disminuye, su equilibrio se considera como el mejor indicador de cosecha (Mitcham *et al.*, 1996; Valdín, 1998). La relación azúcares / ácidos óptima varía con el fin a que se destinen (jugo, jalea, consumo en fresco o vino) variando también con los cultivares (Westwood, 1982).

- **Sólidos solubles Totales.**

La cantidad de sólidos solubles en el jugo de los frutos es de los índices de madurez más usuales, donde los azúcares son los principales componentes, generalmente, a medida que los frutos maduran, los niveles de sólidos solubles en las vacuolas celulares se incrementan, mientras la acidez se reduce. Una vez cosechados la acumulación se detiene, debido a que la importación depende de los fotosintatos que se producen en las hojas. Al mismo tiempo la protopectina en las paredes celulares se hidroliza a pectinas solubles. Así el contenido de sólidos solubles de tales frutos gradualmente se incrementa después de la cosecha. Las pectinas solubles en la vacuolas hacen al jugo viscoso, pero estos compuestos aparecen en tan bajas concentraciones que contribuyen poco al contenido de sólidos solubles totales. Si la recolección se realiza demasiado tardía da lugar a demasiados azúcares (Díaz, 2002; Ryugo, 1993; Wills *et al.*, 1998).

El contenido de sólidos solubles se determina colocando una muestra pequeña del jugo extraído de los frutos, en el cristal de un refractómetro manual, este instrumento está diseñado para usarse en el campo y se basa en la medida de la refracción de la luz a su paso y en la relación entre densidad del jugo y contenidos en azúcares, están calibrados para leer directamente el porcentaje de sacarosa expresado en grados Brix³. Las lecturas de algunos contenidos de sólidos solubles deben hacerse en muestras de jugo tan pronto como los frutos sean cosechados. Los valores tienden a incrementarse con el tiempo de almacenamiento debido a que los frutos pierden humedad más rápido de lo que ellos respiran azúcar. Si el retraso es inevitable, el error puede reducirse refrigerando los frutos bajo condiciones de alta humedad relativa. El cambio en la concentración de los azúcares es diferente según los frutos (Díaz, 2002; Ryugo, 1993; Wills *et al.*, 1998).

³ La escala Brix, es una escala hidrométrica para soluciones que contienen azúcar, así graduando de tal forma que las lecturas a una temperatura específica representan los porcentajes por peso de azúcar en la solución.

- **Acidez.**

La acidez expresada en acidez titulable (AT) (proporción de acidez no combinada con cationes) es un indicador bastante objetivo de madurez-cosecha de los frutos y en algunos casos ese valor se relaciona con el contenido de azúcares. Una recolección demasiado temprana da lugar a niveles de ácidos demasiado altos y las tardías a pocos ácidos. La medida más común para establecer el momento adecuado del corte es la relación SST/AT (Díaz, 2002; Hobson, 1993). Se determina con la graduación de un conocido volumen de jugo con una producción estándar de hidróxido de sodio a un punto final estequiométrico, por lo general pH 8, comúnmente se expresa como miligramos de ácido cítrico o tartárico por 100 mililitros de jugo (Ryugo, 1993).

- **pH.**

El pH constituye una medida útil que se emplea mucho además es de fácil obtención con ayuda de un simple pH metro (Wills *et al.*, 1998). Infiuye en la estabilidad de las vitaminas y antocianinas de las zarzamora, dependiendo de la variación de este, pueden destruirse. Una forma de incluir el pH de manera directa, es cambiando la temperatura de la sustancia en estudio, debido a que la actividad de los iones hidrógeno varia según la temperatura de una sustancia acuosa; es por ello que la temperatura a la cual se maduran las zarzamorras, influye en la formación de antocianinas (Barrera, 2003).

3.3.3.4. Índices a base de cálculos.

En algunos cultivos ciertas determinaciones a base de cálculos permiten calcular el tiempo de cosecha (Cuadro 12) que se ha pronosticado con base en el hecho de que el crecimiento de muchas plantas en el campo, es proporcional a la temperatura ambiente. Sin embargo esto es sólo dentro de un rango limitado de temperaturas y bajo condiciones similares a las de otras variables ecológicas (Almaguer, 1998; Pantastico, 1975).

- **Días transcurridos de floración a maduración.**

Para algunos cultivares de ciertas especies calcular los días transcurridos desde floración hasta la cosecha es un índice de madurez útil principalmente a nivel comercial, aunque no es un criterio confiable para decidir cuándo cosechar. Cada cultivar tiene la información genética de cuantos días requiere el desarrollo completo del fruto, aunque no es un dato exacto ya que varios factores pueden cambiar como la velocidad de desarrollo y maduración de plantas individuales, o de órganos de la misma planta, arbusto o árbol, excesos de nitrógeno que retrasan la maduración, castigos de agua, altas temperaturas que la aceleran entre otros (Díaz, 2002; Kader, 1992).

Para frutos de hoja perenne que crecen en climas con características estacionales poco variables, la fecha del calendario puede constituir una buena guía sobre el grado de madurez comercial (Wills *et al.*, 1998).

- **Unidades Calor.**

Todos los procesos fisiológicos y funciones de las plantas se llevan a cabo dentro de ciertos límites de temperatura que es uno de los factores climáticos más importantes en la adaptación, además presentan diferentes respuestas ante ésta, afecta el desarrollo a través de la influencia sobre la velocidad de los procesos metabólicos, temperaturas bajas retardan el desarrollo, mientras que las altas (hasta cierto límite) aceleran la época de cosecha y acortan el ciclo vegetativo, en general la vida activa de las plantas se localiza entre 0° y 50°C, aun cuando estos límites varían mucho de una especie a otra, son considerables las pérdidas de cosecha a causa de temperaturas altas o bajas⁴ (Almaguer, 1998; Torres,1995).

Tras la interrupción del periodo de reposo invernal los frutales necesitan acumular determinado número de grados de temperatura para completar su ciclo vegetativo que involucra los procesos de crecimiento y desarrollo, la cantidad necesaria se cuantifica y se calcula en forma de índices agrotérmicos como las unidades térmicas, grados día considerando una temperatura base o unidades calor (Díaz, 2002; Ryugo, 1993; Melgarejo, 1996; Torres,1995).

Las unidades calor son de fácil aplicación y se calculan con el método residual (Torres, 1995) que ha mostrado mejor ajuste con los requerimientos térmicos de los cultivos, los parámetros que requiere son la temperatura máxima, mínima y una base que por encima de ella la planta comenzará a crecer y por debajo el crecimiento y desarrollo se inhiben, ésta depende de cada especie vegetal. (Kader, 1983; Ryugo, 1993; Torres,1995).

Para algunos cultivares estimar la cantidad de calor que se requiere para el desarrollo de un fruto desde la floración hasta que alcanza la madurez fisiológica o la de consumo es una medida objetiva, útil y precisa que permite calcular los días que han de transcurrir desde la salida del reposo hasta la plena floración son: las unidades calor acumuladas hasta la floración. En general entre más calor haga entre floración a maduración la cosecha será más temprana en comparación a si las temperaturas han sido más bajas se retrasa (Díaz, 2002; Kader, 1983; Melgarejo, 1996; Wills et al., 1998).

⁴ Cruz. P. F. 1994. Tópicos Selectos de la Producción Agrícola Actual, Fenología agrícola e Índices de acumulación de temperatura. UNAM, México. 48 p.

El promedio de las unidades calor acumuladas durante el desarrollo se denomina constante térmica que es un medio útil y preciso para estimar la fecha de cosecha de un cultivar en particular que difiere según las necesidades de cada especie para completar su ciclo vegetativo (Kader, 1983; Ryugo, 1993; Torres, 1995).

Algunas de las aplicaciones de las unidades calor en la agricultura, es que se puede realizar una zonificación de variedades de cultivos de acuerdo a las unidades calor disponibles en la región, pronóstico de fases fenológicas de los cultivos y la programación de actividades agrícolas, tales como fechas de siembra, aplicación de insecticidas, entre otras. El no cubrir las unidades calor requeridas por el cultivo, las plantas ya no ejercen sus funciones normalmente, y puede llegar al extremo de que muera (Torres, 1995).

3.3.3.5. Índices fisiológicos.

En los frutos, ciertas determinaciones fisiológicas (Cuadro 12) permiten calcular el grado de madurez de diversos productos (Wills *et al.*, 1998). Los datos de respiración expresan con precisión la edad, en especial a lo largo de su desarrollo, maduración fisiológica, maduración organoléptica y senescencia. La actividad respiratoria puede detectarse midiendo la producción de dióxido de carbono (que aumenta) o la concentración interna de oxígeno, que disminuye. Las mediciones pueden realizarse en diferentes fechas de cosecha y se decide cuál es la mejor. Si se sigue la actividad respiratoria de una fruta a través del consumo de oxígeno o del desprendimiento del dióxido de carbono, por unidad de tiempo se obtendrá una pauta respiratoria característica (Almaguer, 1998; Pantastico, 1975; Wills *et al.*, 1998).

3.4. Almacenamiento en frío de frutas.

Los frutos tras la recolección continúan desarrollando los procesos metabólicos y manteniendo los sistemas fisiológicos, que operaban mientras se hallaban unidos al vegetal del que procedían, a través de los cuáles adquieren su aptitud para el consumo. Como han perdido contacto con la fuente de agua, fotosintatos y minerales, dependen exclusivamente de sus reservas alimenticias y de su propio contenido de agua que ya no se compensan, entonces se inicia el deterioro, convirtiéndose en productos perecederos, los factores mayores que contribuyen es la respiración, transpiración y producción de etileno. La reducción del metabolismo vegetal se realiza por medio de tecnologías de almacenamiento a temperaturas reducidas que permiten prolongar la vida útil del producto, además de equilibrar su oferta y demanda (DeEll *et al.*, 2003; Holdsworth, 1988; Liu, 1992; Pantastico, 1975; Wills *et al.*, 1998).

Las frutas tienen una vida de almacenamiento distinta, ya sea prolongada o muy corta que va desde unos cuantos días hasta una semana (Liu, 1992). Este comportamiento se encuentra predeterminado en gran medida por sus características genéticas donde puede haber diferencias muy grandes entre la vida de diferentes cultivares dentro de una misma especie, además muchos otros factores de precosecha, las técnicas de cosecha, manejo, así como los tratamientos postcosecha (Holdsworth, 1988; Liu, 1992).

Finalmente, la vida real del producto está determinada por el manejo de factores de almacenamiento en los métodos o sistemas, los principales y más importantes que pueden ser controlados son la temperatura, humedad y la atmósfera, que pueden variar drásticamente de una especie a otra y aun entre un cultivar y otro, si se mantienen temperaturas óptimas para un producto se logra maximizar su vida útil (Holdsworth, 1988; Liu, 1992).

La temperatura es el factor más importante que gobierna el mantenimiento de la calidad postcosecha de las frutas (Wills *et al.*, 1998). Esta relacionada con la velocidad de deterioro, por ello, su manejo adecuado debe tener la más alta prioridad (Liu, 1992).

La posibilidad de poder prolongar el almacenamiento más allá de lo que se permitiría bajo condiciones ambientales es muy importante para los fines de las operaciones comerciales como: (a) retardar la madurez; (b) reducir las pérdidas de putrefacción; (c) evitar las alteraciones fisiológicas y (d) mantener los atributos de calidad deseables (Holdsworth, 1988).

El almacenamiento en frío es considerado como uno de los métodos de conservación de alimentos que permiten ampliar la vida del producto varios años, de forma que mantenga en grado aceptable su calidad, incluyendo color, textura y aroma; además ha empezado a ser uno de los factores más importantes para el mantenimiento de la cadena alimentaria desde el productor hasta el consumidor. Este método proporciona un amplio margen de tiempo de conservación desde corta duración como es la refrigeración o de plazo largo como la congelación (Holdsworth, 1988), las frutas y hortalizas frescas se conservan mejor en frío y se lesionan al congelarse (Wills *et al.*, 1998).

El segundo factor que debe considerarse es la humedad relativa, ya que en grado alto durante el almacenamiento, minimiza en los productos la transpiración y la pérdida de agua; también ayuda a mantener su vigor y a retardar la senescencia. Por tanto, lo óptimo puede ser de 95% hasta 100% para algunos productos, sin embargo, de manera elevada puede ocasionar condensación, crecimiento de hongos en las superficies, crecimiento de las raíces, piel agrietada, mayor deterioro, en otros productos. Por lo tanto, la humedad óptima varía entre 40% y 100%, los requerimientos de los productos de interés y el manejo de los niveles dentro del sistema de almacenamiento utilizado depende del producto y primero debe ser analizados cuidadosamente (Liu, 1992).

Considerando el tercer factor que es la atmósfera de almacenamiento, la vida de los productos hortícolas puede extenderse reduciendo la concentración de oxígeno, aumentando la concentración de CO² o combinando ambas situaciones (Liu, 1992).

3.4.1. Uso de la congelación como método de conservación.

El conocimiento sobre el modo en que la congelación afecta a los alimentos es de gran valor cuando se hace uso práctico de este método de conservación de alimentos. Con este fin, se consideran los tres períodos de la vida útil de un alimento congelado, que son (a) congelación, (b) almacenamiento bajo congelación y (c) descongelación. La calidad final del alimento reflejará el cuidado que éste ha recibido y quedará reflejada por la textura, color y sabor, así como por el valor nutritivo (Cox, 1987)

3.4.1.1. Efectos de la congelación.

Las plantas están compuestas mayoritariamente de agua, por tanto es el principal componente de los alimentos derivados de ellas (Cox, 1987). Cuando se congela un fruto, el agua que contiene se transforma en hielo ya sea Inter celular o intracelularmente. Esta separación o aislamiento del agua en forma de hielo, inicia la deshidratación y el estrés de las estructuras celulares, como las membranas, y de los constituyentes, como las proteínas, porque disminuye la cantidad de agua que puede actuar como disolvente, debido al crecimiento de los cristales de hielo. Siendo el principio del uso de la congelación como método de conservación (Cox, 1987; Wills *et al.*, 1998).

En los aspectos físicos de la congelación, están implicadas al menos tres fases que son: (a) Enfriamiento del producto hasta la temperatura de congelación, (b) Congelación del producto, a 0°C el agua se transforma en hielo y durante cierto tiempo su temperatura permanece constante y (c) Cuando la cristalización es completa se produce un enfriamiento del producto hasta que se equilibra con la temperatura de almacenamiento, la Figura 11 ilustra estos tres estados (Cox, 1987; Holdsworth, 1988).

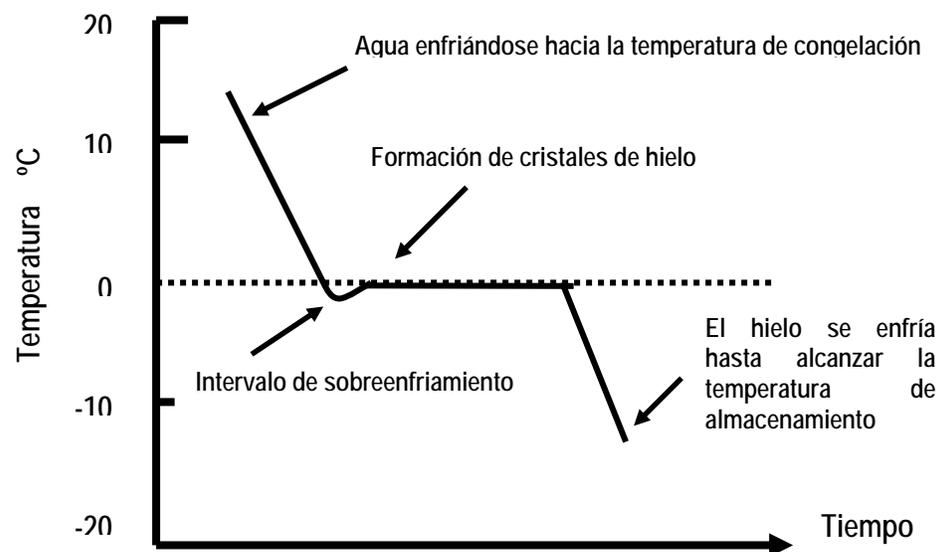


Figura 11. Curva de congelación del agua.

FUENTE: Cox, 1987.

Durante el primer periodo de la Figura 11 debe extraerse calor para convertir el agua líquida en hielo, conocido como calor latente de cristalización, por ello, durante cierto tiempo el efecto del frío se equilibra con el calor liberado por el agua, ya que está sometida a un cambio de estado, y la temperatura permanece constante, como indica el tramo horizontal de la curva, la longitud de este tramo está determinada por la velocidad a que se disipa el calor que depende de la diferencia de temperatura entre el centro del producto y el ambiente, así como del calor específico y las características físicas (dimensiones) del producto. Cuando se alcanza la temperatura de congelación, antes del inicio de la cristalización, el agua sufre un cierto grado de sobreenfriamiento que se observa como una ligera depresión, en otras palabras, el agua se enfría entre -1 y -2°C antes de que se empezaran a formar los cristales. Esto ocurrirá cuando haya una gran velocidad de eliminación de calor y asegura que, cuando se inicie la formación de cristales ésta será rápida. Si los productos son homogéneos la congelación tiene lugar a temperatura constante, porque solo se elimina el calor latente. Sin embargo, la presencia de constituyentes celulares modifica el perfil de forma que en la práctica la temperatura desciende ligeramente en la zona de congelación (Cox, 1987; Holdsworth, 1988).

El agua de los alimentos no es pura sino, más bien, una solución de sales, azúcares y proteínas solubles, además de un complejo de moléculas proteicas que están en suspensión coloidal, por tanto el punto de congelación de una solución siempre está por debajo de 0°C , y el grado en que desciende el punto de fusión es proporcional a la concentración de solutos en el tejido (Cox, 1987; Wills *et al.*, 1998). Las frutas y verduras más comunes que contienen mucha agua, tienen puntos de congelación entre 0°C y -4°C . Está es la zona normalmente conocida como *zona de máxima formación de cristales* Figura 12 (Cox, 1987).

La conversión en hielo de parte del agua disponible cuando el alimento se congela tiene el efecto de incrementar la concentración de los restantes solutos hasta el punto de saturación (la misma cantidad de componentes solubles debe estar disuelta en un menor volumen de solvente). Este incremento en la concentración de los líquidos de un alimento causa un posterior descenso en el punto de congelación. Así, en la Figura 12, que ilustra la curva de congelación de un alimento típico, el tramo horizontal desciende suavemente al incrementarse la concentración de solutos y descender el punto de congelación. Los alimentos también son sometidos a un corto intervalo de sobreenfriamiento antes del inicio de la cristalización, como se observa en la curva. Se observa que cuando la temperatura alcanza los -18°C puede haber aún un pequeño porcentaje de agua que permanece sin congelar. Cuando la temperatura del alimento se reduce aún más se alcanza un punto en que el agua restante y los componentes solubles solidifican juntos. La presencia de incluso pequeñas cantidades de agua no congelada implica que hay una región en la que los microorganismos pueden permanecer viables, incluso aunque no puedan crecer o multiplicarse a esa temperatura (Cox, 1987).

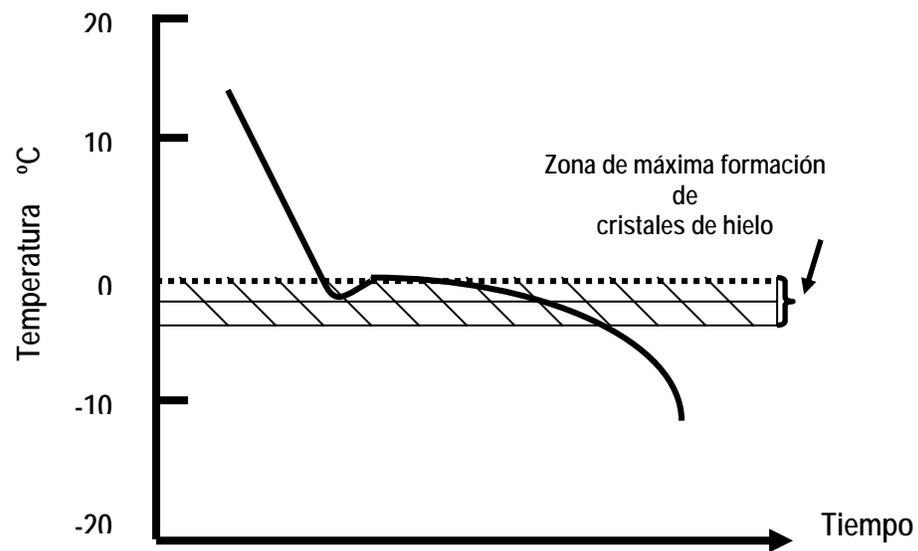


Figura 12. Curva de congelación de un alimento típico.
FUENTE: Cox, 1987.

Cuando el agua se transforma en hielo ocurre una expansión del volumen algo inferior al 9%, los alimentos con un alto contenido de agua se expanden, al congelarse, proporcionalmente más que aquellos cuyo contenido de agua es menor, provocando cambios de volumen (Cox, 1987).

La diferente velocidad de congelación tienen efectos sobre la calidad de los frutos. Del agua total de los tejidos vivos, una pequeña parte está ligada, en cierta forma a las moléculas que las componen, una mayor proporción no está combinada de ninguna forma, el hecho de que ésta no fluya del tejido vivo cuando se le corta indica que está retenida de alguna forma (Cox, 1987). Durante la congelación de un fruto se producen una serie de procesos fisicoquímicos dentro del mismo. En primer lugar, una progresiva concentración de los componentes químicos celulares que puede ocasionar efectos osmóticos u otros, suficientes para causar roturas celulares y lesiones en tejidos. En segundo lugar el agua se concentra en forma de cristales de hielo en los tejidos cuando pasa por la zona de máxima formación de cristales que dependiendo de la velocidad de congelación, pueden dar lugar a lesiones celulares conocida como lesión por congelación (Figura 13). Si el paso a través de este intervalo de temperatura es lento, se forman cristales grandes que tienden a crecer mucho y esto puede dar lugar a una desorganización y alteración de la estructura celular; pero si el paso es rápido, entonces se forman cristales pequeños (Cox, 1987; Holdsworth, 1988; Wills *et al.*, 1998).

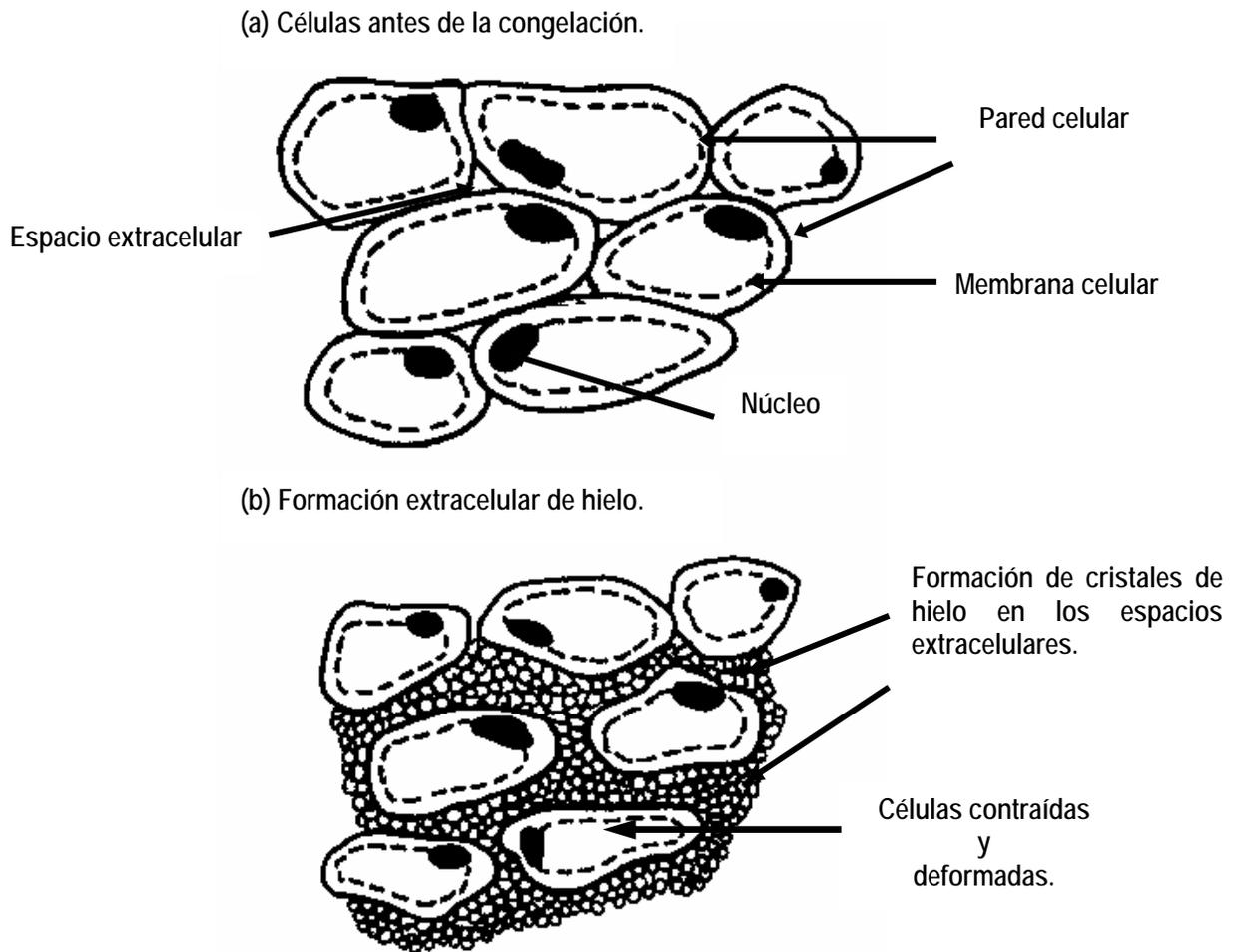


Figura 13. Representación diagramática de la formación de cristales en alimentos con estructura celular.

FUENTE: Cox, 1987.

Otro factor que contribuye a incrementar el tamaño de los cristales es la variación de presión de vapor que ocurre en los alimentos cuando se congelan. A la temperatura del congelador, la presión de vapor ejercida por las moléculas de agua en el aire en contacto con los cristales de hielo es menor que la disponible por el agua no congelada, y por ello hay una tendencia a que las moléculas de agua migre hacia los cristales ya formados y se agregue a ellos (Cox, 1987).

La velocidad de congelación afecta no sólo al tamaño de los cristales de hielo formados, sino también a su localización. Parece que, si la congelación es muy rápida, se forman cristales muy pequeños en el interior de las células; pero si es lenta, los cristales se forman en los espacios extracelulares, que puede producir una considerable alteración física de la estructura celular como se observa en la Figura 13. El fluido que rodea y baña las células está constituido por una solución menos concentrada en nutrientes que el contenido en el interior de las células, y por ello se congelará a una temperatura menos baja, una congelación muy lenta concentra, en efecto el fluido extracelular de tal forma que el agua sale de las células diluyéndolo, dejando atrás un complejo de moléculas irreversiblemente deshidratadas y desnaturalizadas, para las células, el resultado final de este movimiento de agua es su contracción y deformación mientras los cristales continúan creciendo en los espacios extracelulares ver Figura 13 (Cox, 1987; Wills *et al.*, 1998). Estos efectos se demuestran perfectamente con los productos que tienen un alto contenido en agua ya que una congelación lenta da lugar a que se produzca una elevada pérdida por goteo (es decir una gran cantidad de líquido exudado) cuando se descongela y generalmente, una mala textura (Holdsworth, 1988).

3.4.1.2. Efectos del almacenamiento en congelación.

Una temperatura de -18°C es un nivel adecuado y seguro para conservar los alimentos congelados. Ningún microorganismo puede crecer a esta temperatura y la acción de las enzimas es insignificante. Los congeladores domésticos están diseñados para mantener una temperatura de -18°C . Los alimentos bajo condiciones ideales en un congelador doméstico no sufrirán pérdida alguna de calidad, éstas consisten en un correcto empaquetado y una temperatura uniforme, aunque no es posible prevenir las fluctuaciones de temperatura dentro del congelador. De hecho, existe frecuentemente en el congelador un *gradiente de temperatura* que hará que el calor fluya desde las zonas más calientes a las más frías hasta que haya de nuevo una temperatura uniforme en la cámara. Varios factores contribuyen a la existencia de éste gradiente, la simple apertura de la puerta o tapa del congelador para extraer un paquete de alimento introducirá aire caliente en la cámara, aunque reviste mayor importancia la temperatura producida por la adición de paquetes de alimento no congelado. El efecto que produce este gradiente es una elevación de la libre circulación del aire. Cuando el aire se calienta, se incrementa su capacidad para humedecerse. En un congelador, la única fuente disponible de humedad es el hielo contenido en los alimentos congelados. El aire caliente toma humedad de los alimentos inadecuadamente protegidos y finalmente la redeposita cuando se enfría por contacto con las superficies frías del congelador. Donde quiera que exista un gradiente de temperatura dentro de un congelador puede predecirse una pérdida de humedad en los alimentos deficientemente envueltos, con un progresivo deterioro de la calidad (Cox, 1987).

El alto valor nutritivo original de un alimento destinado a la congelación puede perderse si no se manipula correctamente, si se permite que fluctúe su temperatura de almacenamiento o si no se controlan cuidadosamente las condiciones de descongelación. Los nutrientes se pierden con frecuencia en el fluido que exudan los tejidos dañados, cuando se descongelan o como resultado de la actividad enzimática, la intensidad con que ocurre variará de acuerdo con el tratamiento recibido. Las frutas están constituidas por varios componentes que están presentes en diversas proporciones, al no ser consumidas o comercializadas rápidamente, puede reducirse fuertemente la concentración de algunos de ellos, la vitamina C es de las más importantes, la actividad enzimática la destruye fácilmente, por ello, su presencia en cantidades razonables en un alimento congelado generalmente se considera un índice de buena cantidad (Cox, 1987).

3.4.1.3. Efectos de la descongelación.

La mayoría de los cambios que se manifiestan cuando se descongela un fruto son el resultado del tratamiento que ha recibido durante el proceso de congelación y de almacenamiento en congelación. Tanto una velocidad de congelación lenta como una temperatura de almacenamiento fluctuante puede conducir a la formación de grandes cristales de hielo y consecuentemente, a una pérdida de líquido en la descongelación arrastrando con ella nutrientes solubles que los frutos no son capaces de recuperar (Cox, 1987). Uno de los cambios más importante que se observan en frutas de consumo crudo es en relación a la textura, ya que en primer lugar habrá cierta pérdida de turgencia, los tejidos afectados no suelen ser capaces de reanudar un metabolismo normal, ni de recuperar la textura del producto fresco, por lo que son flácidos y están encharcados. La recuperación de la forma y funciones normales sólo es posible si el daño causado por los cristales de hielo es mínimo y si la temperatura aumenta a un ritmo suficientemente lento como para permitir la redistribución ordenada del agua y la recuperación de la compartimentación intracelular (es decir, el reparto organizado de funciones celulares dentro de un compartimiento limitado por membranas u orgánulos dentro de la célula) (Cox, 1987; Wills *et al.*, 1998). El consumo después de congelación y preferiblemente mientras aún contiene algunos cristales de hielo, ayuda a compensar ésta pérdida de textura. Cuando un alimento se mantiene congelado durante cierto tiempo, las condiciones de almacenamiento y la velocidad de descongelación normalmente son de importancia ya que influyen en la calidad del alimento, en algunos se recomienda una descongelación lenta en el interior de un refrigerador doméstico (Cox, 1987).

3.4.2. Almacenamiento en refrigeración.

El almacenamiento en refrigeración es el método más comúnmente utilizado para mantener frescos los productos hortícolas y frutícolas (Liu, 1992). El objetivo perseguido es frenar el deterioro, sin promover una maduración anómala u otros cambios perjudiciales, preservar la calidad manteniendo el producto en condiciones aceptables durante un periodo tan largo como sea posible hasta el consumo doméstico (Holdsworth, 1988; Liu, 1992; Wills *et al.*, 1998). El desarrollo de la refrigeración ha permitido superar los problemas del almacenamiento; hoy día se emplea en la cadena de distribución de una amplia gama de productos alimenticios, utilizando gran variedad de técnicas para enfriarlos (Holdsworth, 1988).

3.4.2.1. Efectos del enfriamiento.

El metabolismo de los frutos, implican numerosas reacciones enzimáticas. La velocidad de las reacciones se reduce a la mitad por cada 10°C de descenso en la temperatura y aumenta exponencialmente al crecer ésta (Holdsworth, 1988; Liu, 1992; Wills *et al.*, 1998). Por ello los frutos tras la recolección, se transportan y almacenan a temperaturas reducidas, lo que presenta muchas ventajas tanto en frutos climatéricos como en los no climatéricos, con este método cuanto más rápido se enfrían hasta la temperatura de almacenamiento, tanto más se disminuye la velocidad de deterioro y se amplía el plazo de conservación, lo que generalmente se traduce en el mantenimiento por más tiempo de la calidad alta y en una prolongación de su vida útil (Hobson, 1993; Holdsworth, 1988; Hotchkiss, 1992; Liu, 1992; Wills *et al.*, 1998).

Desde el punto de vista de fisiología postcosecha con el almacenamiento de frutos a temperaturas bajas se reduce el ritmo respiratorio de los tejidos alterando entre otros aspectos el equilibrio de los azúcares ya que disminuye la utilización de azúcar en este proceso, así como la producción de etileno y la sensibilidad del producto a este gas, se retrasa el comienzo de la maduración organoléptica en frutos climatéricos, la senescencia, también se frena la presión de vapor del producto y a su vez el gradiente de la presión de vapor entre el producto y la atmósfera de almacenamiento, la velocidad de pérdida de agua por transpiración (mientras menor sea el gradiente de presión de vapor menor será la velocidad de transpiración), la pérdida de vitamina C, cambios de textura; el crecimiento microbiológico, la alteración bioquímica, además de otros cambios (Hobson, 1993; Holdsworth, 1988; Hotchkiss, 1992; Liu, 1992; Wills *et al.*, 1998). Algunos de estos procesos pueden evitarse con unas condiciones adecuadas de almacenamiento pero otros sólo pueden ser retardados. Por consiguiente es evidente que son varios los factores que contribuyen a la vida útil y constituye inevitablemente una fase en que pueden aparecer pérdidas económicas (Holdsworth, 1988).

No existe una temperatura ideal para el almacenamiento de todos los productos, porque sus respuestas a las bajas temperaturas son muy diversas. El efecto que sobre el mantenimiento de la calidad tiene un determinado descenso de la temperatura no es uniforme a lo largo de todo el intervalo de temperaturas fisiológicas, o intermedias normales (0-30°C para las líneas insensibles al frío y alrededor de 7.5-30°C para las líneas sensibles al frío. Pequeñas reducciones de la temperatura en el extremo superior de estos intervalos de temperatura sólo mejoran un poco la vida útil. Por el contrario, una reducción similar en el extremo inferior de los intervalos citados logra prolongar la vida útil (Figura 14), incluso un descenso de sólo 1°C puede tener un efecto significativo. Idealmente, la máxima reducción de los procesos implicados en el deterioro, y por tanto la mayor eficacia en el mantenimiento de la calidad, debería lograrse a temperaturas ligeramente por encima del punto de congelación, o inmediatamente por encima de aquellas a las que los productos sensibles al frío comienzan a ser lesionados (Wills *et al.*, 1998).

Para los frutos insensibles al frío, el incremento máximo de la vida útil se logra a temperaturas inferiores al intervalo en el que es posible la maduración organoléptica, el cuál varía ligeramente para diferentes productos, incluso todos pueden ser dañados por la congelación, aunque algunos de ellos son más resistentes que otros (Figura 14). Por lo tanto, tienen que tomarse precauciones para evitar la congelación (Liu, 1992; Wills *et al.*, 1998). La maduración organoléptica, la cuál normalmente tiene lugar sólo dentro de un rango concreto de temperatura de ordinario 10-30°C (Wills *et al.*, 1998).

En los productos sensibles al frío, la máxima retención de calidad se logra a una temperatura de almacenamiento ligeramente superior a aquella a que comienza a producirse síntomas físicos de daño por frío, la cuál varía mucho de acuerdo con el tipo de producto del que se trate (Figura 14). Si la temperatura de almacenamiento es sólo ligeramente inferior a ésta, será preciso una exposición relativamente prolongada para que el daño se manifieste. El daño aparece tanto más deprisa, y es tanto más grave, cuanto más se aleje (por debajo) la temperatura de almacenamiento de la crítica. Es posible almacenar un producto durante un período de tiempo útil a temperaturas ligeramente inferiores a éstas, si la susceptibilidad al daño del frío no es muy acusada. Si es imposible de mantener la temperatura óptima debido a limitaciones técnicas o económicas debe utilizarse la temperatura más baja por encima de la óptima, si se desea maximizar la vida de almacenamiento (Liu, 1992; Wills *et al.*, 1998).

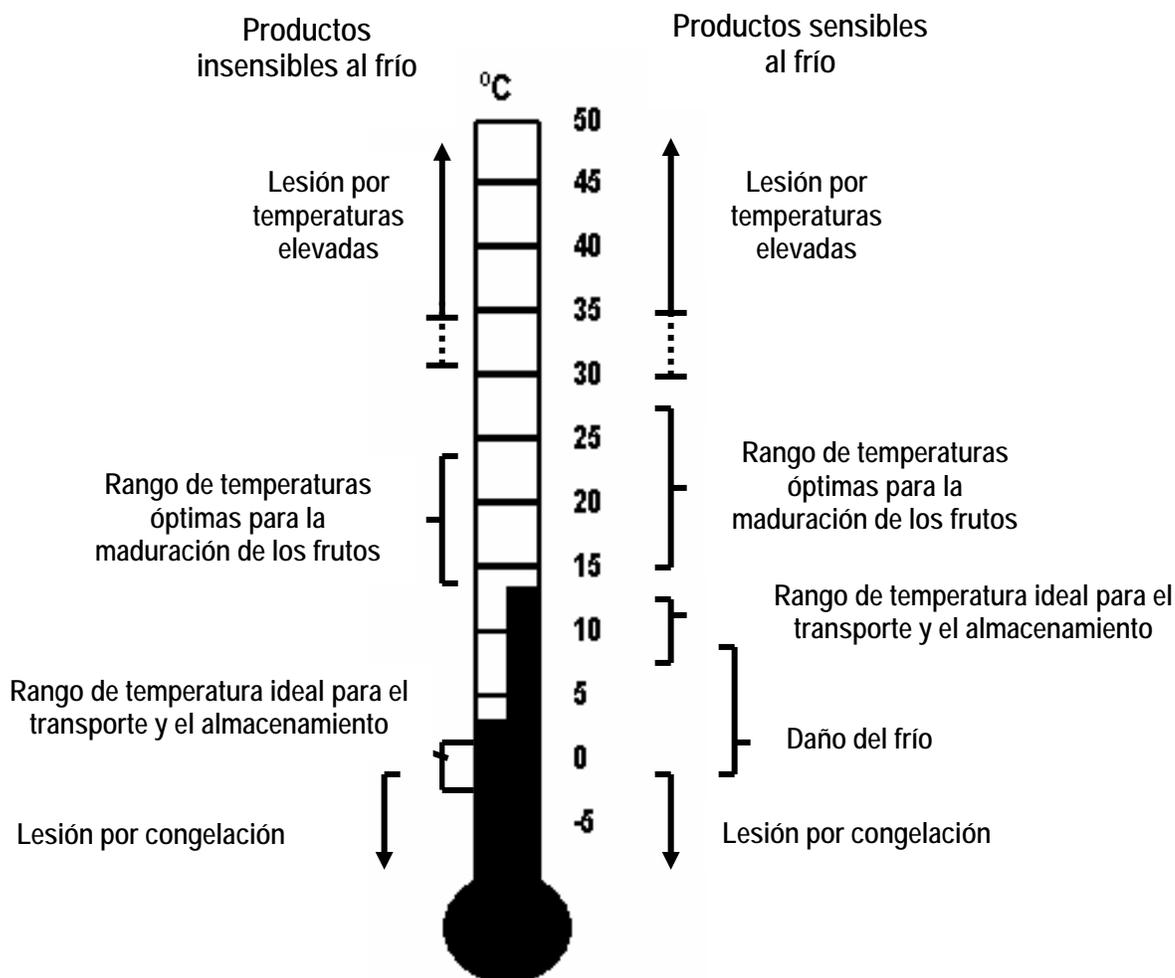


Figura 14. Respuesta a la temperatura de las frutas sensibles e insensibles al frío.
FUENTE: Wills *et al.*, 1998.

La temperatura óptima para el almacenamiento de frutillas como la zarzamora es de $0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y 90-95% de humedad relativa, por un período máximo de 5-10 días por su pérdida de calidad de consumo en fresco (Chávez, 1999; Holdsworth, 1988; Mitcham *et al.*, 1996). Liu (1992), mencionó que para productos altamente perecederos el preenfriado debe aplicarse en un lapso de 1 a 3 horas o menos después de la cosecha. Las frutas maduras casi siempre tienen una menor capacidad de ser almacenadas, así como una menor calidad de comercialización (Liu, 1992). La calidad de las frutas almacenadas depende mucho del grado de madurez en que se encuentren a la salida del almacén (Holdsworth, 1988).

3.4.2.2. Pérdida de agua y humedad.

El principal componente de los frutos es el agua, basan su desarrollo físico en la planta precisamente al suministro de este líquido que genera un impulso de la expansión celular ejercido por la turgencia (Lira, 1994; Wills *et al.*, 1998). La pérdida de agua en los productos equivale a la disminución de peso comercial y, por tanto, de su valor en el mercado ya que disminuye la tendencia a crujir al ser masticados además aceleran la maduración de algunas frutas. También producen cambios indeseables en el color, la sensación bucal y la calidad nutritiva (Wills *et al.*, 1998).

Tras la recolección, la transpiración continúa, aunque los productos hayan cesado el suministro de agua, y puede deshidratar pronto los tejidos. Inicialmente, habrá una disminución de volumen y, en consecuencia, marchitamiento, cuando la presión de turgencia descienda hasta un valor cero. Sin embargo el marchitamiento puede no evidenciarse en todos los tejidos, especialmente en aquellos que tienen un buen soporte mecánico, debido a la posesión de paredes celulares gruesas y/o tejidos vasculares. Después, la deshidratación y desecación se harán aparentes llevando consigo una humidificación que resulta en pérdidas auténticamente desastrosas de algunos de los productos ya que facilita el crecimiento de microorganismos responsables de la putrefacción y, en algunos casos, promueve la desintegración física del productos (Wills *et al.*, 1998).

La pauta descrita se cumpliría rápida e invariablemente en los productos postcosecha, si no existiesen barreras estructurales naturales y fisiológicas que confieren a los productos vegetales gran resistencia a las pérdidas de agua. Numerosos frutos carecen de estomas en su superficie y poseen lenticelas que suelen estar bloqueadas por cera en la maduración. Así pues, la pérdida de agua en forma de vapor y el intercambio de gases durante la respiración sólo serán posibles por difusión a través de la cutícula (Wills *et al.*, 1998).

Las lesiones mecánicas pueden acelerar considerablemente las pérdidas de agua sufridas por los tejidos. La abrasión y el mallugamiento dañan la organización de la superficie de los tejidos y permiten un flujo gaseoso mucho más rápido a través del área dañada. Si tiene lugar durante la cosecha, o después de la misma, la lesión creará una zona carente de protección. Las superficies tisulares lesionadas por enfermedades, incrementan las pérdidas de agua. Si se liberan sobre la herida concentraciones elevadas de solutos, éstos pueden atraer vapor de agua y, en consecuencia, se pueden formar gotículas sobre las superficies dañadas. Estas gotículas siguen aumentando de volumen si la humedad relativa, es alta y siguen saliendo productos osmóticos de los tejidos dañados, lo que facilita la germinación de los esporos fúngicos y el crecimiento y esporulación del micelio, debido a la disponibilidad de agua libre y nutrientes (Wills *et al.*, 1998).

Durante postcosecha es necesario tener medidas tendientes a minimizar las pérdidas de agua. En más simple de los métodos consiste en cubrir con materiales impermeables adicionales las pilas de frutas y hortalizas (embaladas en bolsas o cajas) y están otros los más importantes que exigen disminuir la capacidad del aire del entorno de retener más agua, este objetivo se logra rebajando su temperatura y/o elevando su HR (Wills *et al.*, 1998).

Una alternativa a la elevación del la HR del aire consiste en el establecimiento de una barrera física que se oponga a la pérdida de agua, por ejemplo mediante recubrimientos con cera u otros productos hidrófobos o con películas de plástico. El incremento de la HR del aire reduce la cantidad de agua evaporada del producto antes de que se sature el aire de su entorno. Una humedad relativa del 90% constituye una buena solución de compromiso para la conservación de la fruta. Los frutos maduran mejor a humedades relativas de al menos un 90%; no sólo ofrecen mejor aspecto, al no arrugarse, sino también una calidad interna superior (Wills *et al.*, 1998).

Al enfriarse un producto caliente que transpira lo hará de forma relativamente rápida y el aire húmedo o el vapor de agua liberado se condensara formando rocío sobre la superficie enfriada. El resultado puede ser catastrófico, en términos del daño físico sufrido por el producto, dado que la resistencia del embalaje se reduce sustancialmente al mojarse y humedecerse y puede colapsarse. En otro escenario, podrá condensarse agua sobre el producto, si se encuentra rodeado por un aire húmedo y caliente. La condensación (agua libre) puede propiciar la podredumbre, acelerar el calentamiento del producto (por liberación de calor latente de vaporización e incrementar la conductividad térmica), inducir la desintegración de las piezas (por aumento de la turgencia) e interferir con la actividad respiratoria y otros intercambios gaseosos. A temperaturas de almacenamiento bajas (por ej., 0°C) y humedades relativas altas (por ej., 95%), pequeñas fluctuaciones de temperatura pueden provocar una condensación excesiva sobre las superficies en enfriamiento (Wills *et al.*, 1998).

El movimiento del aire sobre la superficie del producto constituye también un factor importante en la determinación de la cuantía de las pérdidas de agua. Para arrastrar el calor almacenado en el producto, se necesita que el aire circule, el movimiento del mismo tiende a barrer este aire húmedo del entorno del producto. Aumentando la velocidad del aire, se reduce el espesor de esa capa límite y aumenta la diferencia de presión de agua en la vecindad de la superficie, incrementando, por tanto, la velocidad de pérdida de agua. Así en una cámara frigorífica, la disminución del movimiento del aire en torno al producto reduce eficazmente la velocidad de pérdida de agua (Wills *et al.*, 1998).

3.4.2.3. Alteraciones fisiológicas.

En México existen diversos factores que influyen sobre las pérdidas postcosecha de los frutos que se deben fundamentalmente a: *a)* enfermedades causadas principalmente por hongos; *b)* deterioro fisiológico (lo cual comprende problemas de sobremaduración, frutos anormalmente blandos, decoloraciones externas y/o internas, picaduras, entre otros); *c)* daños mecánicos o físicos (heridas y golpes de diferentes tipos) (Colinas, 1992).

Las alteraciones fisiológicas son degradaciones tisulares no causadas por la invasión de patógenos (microorganismos productores de enfermedades) ni por lesiones mecánicas (Wills *et al.*, 1998). Pueden tener su origen desde antes de la cosecha y manifestarse durante ésta o en alguna etapa del manejo postcosecha. O bien, las condiciones de desarrollo de la planta (aspectos de precosecha pueden favorecer la presencia de este tipo de alteraciones en postcosecha (Colinas, 1992), también pueden desarrollarse en respuesta a un ambiente adverso, especialmente en lo que a temperaturas se refiere, o a deficiencias nutritivas, durante el desarrollo. Afectan principalmente a las frutas de los árboles de hoja caduca. (Colinas, 1992; Wills *et al.*, 1998).

El almacenamiento a bajas temperaturas tiene efectos beneficiosos, debido a que frena tanto la actividad respiratoria como el ritmo metabólico en general, sin embargo, no frenan en la misma medida todas las rutas metabólicas. El efecto global es el establecimiento de un desequilibrio metabólico que, conducirá a un funcionamiento anómalo de las células y, en último término, a la pérdida de su integridad y a un deterioro estructural. Las perturbaciones metabólicas producidas por las bajas temperaturas suele denominarse la lesión de frío o daño por frío (Wills *et al.*, 1998).

La lesión del frío es un problema de importancia en el manejo postcosecha, ya que puede ser responsable de grandes pérdidas económicas, principalmente durante el almacenamiento y transporte (Colinas, 1992). Es una alteración que se presenta a temperaturas por arriba del punto de congelamiento y por debajo de 15 a 20°C (Figura 15), es consecuencia de un desequilibrio metabólico y de la pérdida de la compartimentación celular, la susceptibilidad y sus propias manifestaciones varía considerablemente según el producto vegetal del que se trate, según la etapa de madurez en que se encuentren, sean o no climatéricos (Colinas, 1992; Wills *et al.*, 1998).

Muchos productos de origen tropical o subtropical son susceptibles al daño por frío ofreciendo umbrales de enfriamiento que se hallan alrededor de los 13°C, como aguacate, plátanos, toronjas, mangos y jitomates. Sin embargo, también hay varios productos de origen templado que pueden sufrir daño por frío en el manejo postcosecha, aunque las temperaturas a las cuales se presenta el problema son mucho más bajas que para los productos de lugares cálidos, generalmente en torno a 0°C, o menos. No es posible el almacenamiento a temperaturas inferiores a -1°C, por las lesiones que produce la congelación (Colinas, 1992; Wills *et al.*, 1998).

A bajas temperaturas se pueden generar diversas alteraciones funcionales, las cuales según el producto y la severidad del daño se pueden ver reflejadas en:

- a) Aparición de manchas en la piel o áreas tisulares de color pardo, debidas, en general, al colapso y a la decoloración de las células situadas inmediatamente por debajo de la superficie, este es un síntoma físico común.
- b) Notables pérdidas de agua, que acentúan el moteado.
- c) Pardeamiento, otra manifestación común.
- d) Encharcamiento tisular, en algunos frutos.
- e) Decoloración interna y superficial.
- f) Presencia de áreas cafés endógenas.
- g) Falta de sabor.
- h) Áreas de la pulpa saturadas de agua.
- i) Picaduras.
- j) Descomposición o deterioro acelerado.
- k) Maduración desuniforme o ausencia de maduración.
- l) Liberación de metabolitos, como aminoácidos, azúcares y sales minerales, al exterior de la célula, lo que, junto con la degradación de la estructura celular, proporciona excelentes sustratos para el desarrollo de los gérmenes patógenos, especialmente de los mohos. Estos microorganismos patógenos suelen estar presentes, bien como infecciones latentes, bien a consecuencia de la contaminación durante la recolección, o poscosecha (durante el transporte y la comercialización).
- m) Incidencia de patógenos y desarrollo de enfermedades
- n) Aparición de olores y sabores anómalos (Colinas, 1992; Wills *et al.*, 1998).

En algunas ocasiones los síntomas anteriores sólo se presentan cuando el producto se saca a temperatura ambiente, generándose el deterioro muy rápido, teniendo a veces lugar en cuestiones de horas (Colinas, 1992; Wills *et al.*, 1998).

La variedad y complejidad de la sintomatología sugiere que en el desarrollo de la lesión del frío, operan diversos factores, principalmente la temperatura y la duración del almacenamiento, que junto con la relación del grado de maduración, interaccionan fuertemente (Colinas, 1992; Wills *et al.*, 1998).

El riesgo de que una fruta desarrolle una determinada lesión puede, por tanto, reducirse al mínimo, identificando la temperatura crítica, por debajo de la cual se produce la lesión que es una característica de la especie y del producto de ella derivado, no exponerlo a temperaturas por debajo de este valor y no almacenándolas durante períodos largos ya que se pueden producir daños irreversibles, cuya extensión aumenta con el tiempo de exposición (Colinas, 1992; Wills *et al.*, 1998).

Los sucesos que conducen a la lesión del frío pueden dividirse en primarios, a través de los cuáles las células vegetales sienten las bajas temperaturas, y respuestas a largo plazo, o secundarios, que conducen en último término, a la muerte celular. Los sucesos primarios son, más o menos, instantáneos y reversibles, al menos durante cierto tiempo; los secundarios son finalmente irreversibles y se manifiestan por necrosis y otros síntomas ver Figura 15 (Wills *et al.*, 1998).

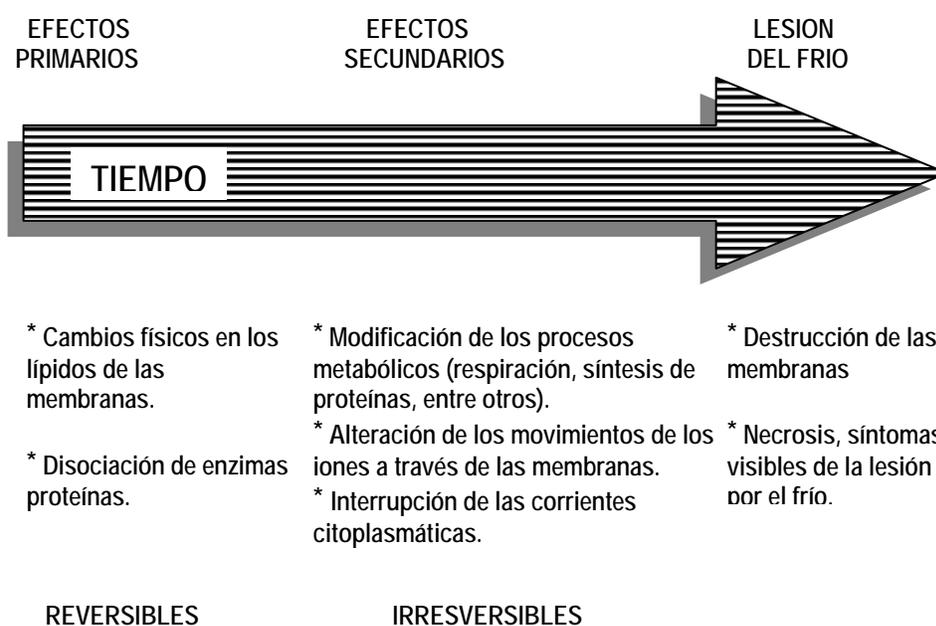


Figura 15. Curso de los eventos que conducen a la lesión o daño del frío.

FUENTE: Wills *et al.*, 1998.

El cambio que las bajas temperaturas inducen en las propiedades físicas de la membrana celular, quien controla varios aspectos funcionales de la célula, tiene una función importante para diferenciar entre especies tolerantes y susceptibles al daño por frío. Como resultado de alteraciones en la membrana, puede haber cambios físicos en el citoplasma, en la producción de etileno, así como en las actividades enzimáticas y en consecuencia, en el metabolismo de muchos compuestos, y en la acumulación anormal de varias sustancias (Colinas, 1992; Wills *et al.*, 1998).

3.4.3. Acción de las enzimas y microorganismos causantes del deterioro postcosecha.

Cuando las frutas y hortalizas son almacenados siguen viviendo y respirando, las causas principales de alteración que causan una disminución en la palatabilidad y el valor nutritivo, son especialmente los microorganismos y los procesos bioquímicos (Cox, 1987; Holdsworth, 1988) que deben ser considerados como elementos indispensables para la selección adecuada de prácticas o métodos de manejo (Aragón, 1992).

3.4.3.1. Enzimas.

Los distintos procesos bioquímicos son catalizados por un gran número de enzimas, que existen en todas las células vegetales y son responsables del proceso normal del metabolismo en el tejido vivo, éstas asumen un nuevo papel después de que se cosecha la planta, mientras que durante la vida se ocupan de la nutrición y desarrollo de los tejidos, tras su muerte su función parece ser la destrucción de los mismos, la enzima polifenoloxidasas pueden causar en algunas frutas pardeamientos indeseables y malos olores, la enzima pectinesterasa provoca pérdida de textura y de calidad (Cox, 1987; Holdsworth, 1988).

Las enzimas deben ser inactivadas para que los frutos y hortalizas no pierdan sus propiedades y puedan mantener su calidad (Holdsworth, 1988). Como son fundamentalmente proteínas pueden inactivarse irreversiblemente por exposición a temperaturas altas por encima de 30°C, muchas siguen activas a 35°C pero la mayoría se inactiva a 40°C (Cox, 1987; Wills *et al.*, 1998) aunque a bajas temperaturas como las que hay en un congelador sus actividades son meramente inhibidas, continúan funcionando durante el proceso de congelación y aunque permanezcan inactivos, reasumen su actividad cuando tiene lugar la descongelación (Cox, 1987; Holdsworth, 1988).

3.4.3.2. Microorganismos.

El deterioro poscosecha de frutas y la susceptibilidad de acusar alteración fisiológica, puede ser causado por numerosos microorganismos que están presentes casi en todas partes, como mohos y bacterias, que son débilmente patógenos, en el sentido de que sólo pueden invadir productos dañados, pero hay otros capaces de crecer y multiplicarse de una forma extremadamente rápida cuando las condiciones ambientales son favorables y causar alteración (Aragón, 1992; Cox, 1987; Holdsworth, 1988; Wills *et al.*, 1998).

La relación entre el hospedador y el agente patógeno es, con frecuencia, razonablemente específica. Cuando uno o unos cuantos microorganismos patógenos invaden un producto y degradan sus tejidos, la pérdida es total. El ataque inicial es seguido rápidamente por un amplio espectro de agentes débilmente patógenos que magnifican el daño causado por los patógenos primarios. Es frecuente que el aspecto de numerosos productos se vea notablemente perjudicado por lesiones superficiales debidas a microorganismos patógenos, sin que se vean afectados los tejidos internos (Wills *et al.*, 1998).

Las enfermedades poscosecha puede producirse como consecuencia de una infección precosecha, durante la cosecha o en las subsiguientes operaciones de selección, empaque y transporte de los productos al mercado; durante su almacenamiento y en las distintas operaciones de manipulación que se requieren para llevar al consumidor final (Agrios, 1999; Holdsworth, 1988; Wills *et al.*, 1998). Hasta ahora, las enfermedades de poscosecha continúan desarrollándose en tanto el producto lo tenga el consumidor final, pero este último lo almacena además a la temperatura ambiente o lo mantiene en refrigeración hasta el momento en que es utilizado o consumido. Durante cualquiera de estas operaciones, el producto puede mostrar síntomas de enfermedades que empezaron en el campo pero que permanecieron latentes hasta ese momento; dicho producto puede ser sometido a condiciones que favorecen su ataque por microorganismos que producen pudriciones, los cuales hacen que se pudra una porción de él y que en algunos casos (cuando secretan sustancias tóxicas) hacen que el resto de él no pueda ser consumido o que tenga un valor nutricional y precio de venta demasiado bajo (Agrios, 1999).

Numerosos hongos responsables de pérdidas de considerable importancia son incapaces de penetrar a través de la piel al madurar, pero pueden invadir fácilmente los tejidos. Una vez que los microorganismos han penetrado, la infección se detiene después y permanece latente hasta que la resistencia del hospedador se vea, poscosecha, disminuida por comenzar a madurar organolépticamente o al producirse el envejecimiento tisular, y las condiciones sean favorables al desarrollo del agente patógeno (Wills *et al.*, 1998).

El factor más importante que afecta al desarrollo de las infecciones poscosecha es el ambiente que rodea al producto. Una temperatura y una humedad relativas elevadas favorecen la germinación de las esporas fúngicas y por consiguiente el deterioro del fruto, para cada microorganismo hay un intervalo de temperatura en que el crecimiento es más rápido (Aragón, 1992; Cox, 1987; Holdsworth, 1988; Wills *et al.*, 1998). La velocidad de desarrollo de la infección en las frutas se ve afectada por muchos otros factores (Wills *et al.*, 1998). Entre ellos la cantidad de oxígeno presente en la atmósfera ya que la mayoría de los microorganismos son aerobios (Cox, 1987). El tejido hospedador, especialmente su pH, actúa como un medio selectivo. Las frutas ofrecen generalmente un pH inferior a 4.5 y son alteradas fundamentalmente por los hongos los cuáles crecen en condiciones ácidas, debido a ello toleran o incluso hacen descender el pH del medio y de este modo provocan las condiciones favorables para un segundo microorganismo (Cox, 1987; Wills *et al.*, 1998). Además la fuga de fluidos celulares derivado de los efectos adversos de temperaturas excesivamente bajas o excesivamente altas o del que inevitablemente se produce a temperaturas fisiológicas normales, a medida que la maduración progresa y entra en la senescencia, es rico en nutrientes disueltos y proporciona un medio muy favorable para el crecimiento y multiplicación (Cox, 1987; Wills *et al.*, 1998).

La presencia de un pequeño número de microorganismos no puede detectarse a simple vista y no es importante a menos que se multipliquen, pero si las condiciones son favorables para el crecimiento puede formar colonias claramente visibles. Los mohos, esencialmente aerobios, forman una fina red de filamentos (micelio) que recuerda a un depósito de algodón sobre la superficie de los alimentos. La mayoría de los alimentos se decoloran y muestran cambios en la textura, pueden sufrir un ablandamiento y desmenuzarse cuando se les saca del envase. La putrefacción va acompañada frecuentemente de un olor desagradable y ácido, no dejando al potencial consumidor dudas sobre su estado (Cox, 1987).

En los problemas fitopatológicos durante poscosecha, los hongos son los agentes causales más importantes, pues los géneros *Alternaria*, *Botrytis*, *Botryosphaeria*, *Colletotrichum*, *Diplodia*, *Monilinia*, *Penicillium digitatum*, *Phomopsis*, *Rhizopus* y *Sclerotinia* ocasionan anualmente pérdidas considerables en frutos almacenados (Agrios, 1999; Holdsworth, 1988; Wills *et al.*, 1998). *Botrytis* causa los mohos grises o las pudriciones por el moho gris de frutos y hortalizas tanto en campo como durante el almacenamiento, prácticamente no hay fruto, hortaliza u otros órganos que no sean atacados por este hongo cuando son almacenados. En la mayoría de los hospederos y bajo las condiciones de humedad se desarrolla una capa de moho aterciopelada, granular y de color grisáceo o gris pardusco sobre la superficie de las áreas putrefactas. Este moho continúa desarrollándose, aunque con mayor lentitud, incluso a 0°C (Agrios, 1999; Liu, 1992).

Las distintas especies del género *Penicillium* causan las pudriciones por los mohos azules y las pudriciones por los mohos verdes (*Penicillium digitatum*). Son las más comunes y a menudo las más destructivas de todas las enfermedades de postcosecha, son en esencia, patógenos de postcosecha y con frecuencia a ellos se debe más del 90% de la descomposición de los frutos durante su transporte, almacenamiento y en el mercado. Estos mohos continúan mostrando una actividad aun a temperaturas cercanas al punto de congelación (Agrios, 1999; Holdsworth, 1988).

Entre los métodos físicos más prácticos y efectivos para controlar el deterioro poscosecha en las frutas se encuentran las bajas temperaturas que no tienen un efecto permanente en las células del microorganismo en una infección incipiente, su acción radica en reducir el ritmo de la maduración y por lo tanto también frenar la velocidad del crecimiento de microorganismos, bien por retrasar el envejecimiento, bien por deprimir el crecimiento de los agentes patógenos impidiendo que las esporas germinen aunque en la herida exista suficiente agua libre para permitir su germinación, o a través de ambos mecanismos (Aragón, 1992; Holdsworth, 1988; Wills *et al.*, 1998). Con frecuencia, el único síntoma visible del deterioro es el crecimiento microbiano, debido básicamente a un control defectuoso de la temperatura (Wills *et al.*, 1998). El proceso de congelación causa una considerable reducción en la tasa de microorganismos presentes en las frutas, aunque pueden sobrevivir un número sustancial. Mueren más rápidamente entre -1 y -4°C que a temperaturas más bajas, pero sobrevive un número significativo. Algunos permanecen viables durante largos periodos a temperaturas considerablemente inferiores 9 a -18°C y bajo estas condiciones de almacenamiento los esporos son capaces de sobrevivir durante muchos meses, salvo que no pueden germinar ver Figura 16 (Wills *et al.*, 1998). Pueden empezar a multiplicarse cuando, finalmente, son descongelados, ya que el efecto combinado de elevación de la temperatura y el incremento del contenido de agua disponible, como resultado de la fusión de los cristales de hielo crean condiciones en las que los microorganismos supervivientes pueden crecer, aunque se producen sólo cuando el número de tales microorganismos alcanza un alto nivel. La mayoría de los alimentos descongelados constituye un medio ideal para el crecimiento de microorganismos (Cox, 1987).

Los frutos de zarzamora son muy perecederos, no es raro que crezcan hongos dentro de 24 a 48 horas después de la cosecha ya que es muy susceptible a las pudriciones. Su vida de anaquel no es mayor a seis días, siempre y cuando se conserve la cadena de frío a lo largo de todo el proceso comercial y hasta la exhibición en anaquel a temperaturas de entre 0.6 y 0°C , con 90-95% de humedad relativa. La comercialización de estos frutos debe ser muy estricta, pues en caso de registrarse rompimientos en la cadena de frío se puede provocar la pérdida del producto (Moore y Skirvin, 1990; Muñoz y Juárez, 1997).

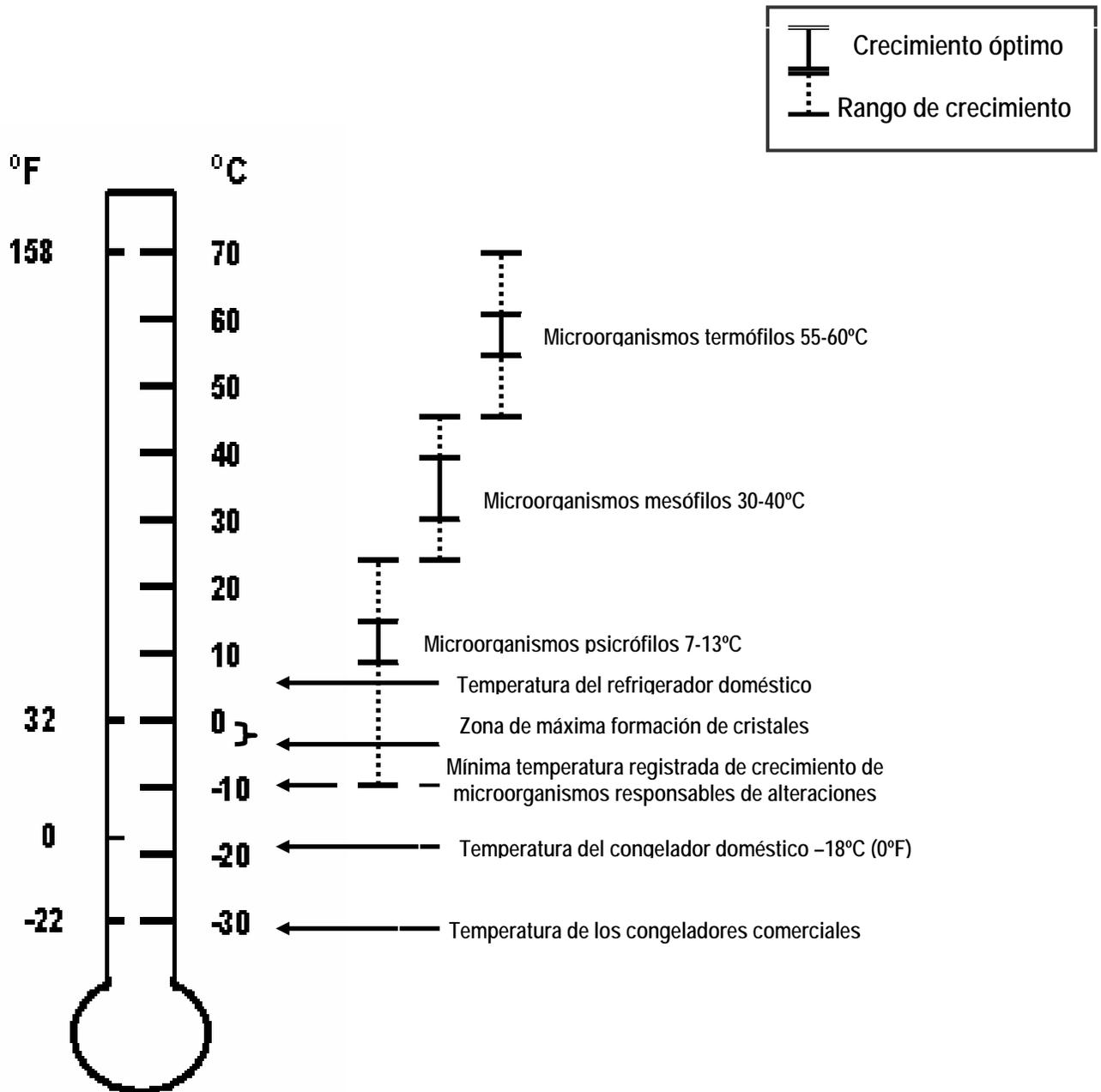


Figura 16. Temperaturas significativas en el almacenamiento en congelación.
 FUENTE: Cox, 1987.

Frecuentemente la actividad de los microorganismos está asociada a la de las enzimas y pueden, de hecho, ocurrir al mismo tiempo (Cox, 1987). Una manipulación cuidadosa durante la recolección minimizará las lesiones mecánicas y reducirá, en consecuencia, el deterioro por invasión de microorganismos patógenos (Wills *et al.*, 1998).

3.5. Formas de consumo de la zarzamora.

El fruto de zarzamora se puede consumir en estado fresco o procesado con varias opciones tecnológicas: congelado, jugo, pulpa concentrada, polvo (deshidratado), mermelada, jalea, ate y licores, su aprovechamiento como producto industrializado, constituye otra alternativa para adicionarle valor agregado, con el consecuente beneficio para el productor (Moore y Skirvin, 1990; Muñoz y Juárez, 1997; Saucedo, 1999).

3.5.1. En fresco.

La calidad es un factor fundamental para seleccionar la fruta para consumo en fresco, debe presentar condiciones de color negro brillante, textura firme y turgente, limpia de restos vegetales, polvo o impurezas, sin drupeolos dañados por agentes mecánicos, insectos o enfermedades. Por las altas exigencias que tiene la fruta para consumo en fresco, la alta perecibilidad y la súbita maduración que presenta, una parte importante de la cosecha no cumplirá los estándares para exportar en fresco. Por consiguiente, en todas las regiones productoras es necesario disponer de líneas de selección y alternativas de congelado o cuando menos de refrigeración para despachar a plantas congeladoras (Muñoz y Juárez, 1997).

3.5.2. Congelación de frutos.

En el país la mayor parte de los berries con destino agroindustrial son empleados para congelado. Una parte importante de la producción de zarzamora es destinada al procesamiento industrial, siendo la congelación el proceso que absorbe las mayores cantidades, además de ser la presentación que mayormente se exporta. El sistema IQF (*individual quick frozen*: congelado rápido individual), permite hacer uso del producto por piezas individuales, obteniéndose un producto atractivo al consumidor debido a que los frutos mantienen su forma, sabor y color original. La oferta al consumidor de estas frutas congeladas puede ser en forma directa o a través de restaurantes, pastelerías u otros que requieran presentar una fruta entera y de cualidades visuales atractivas. El segundo método de preservación de berries es el (congelado en bloque), donde no es posible distinguir y menos separar, las unidades de frutos. Por consiguiente, este tipo de productos es destinado a la industria procesadora de alimentos, la cual utiliza este producto como materia prima. La presentación congelada en bloque corresponde a los frutos de inferior calidad por defectos de sobremadurez, color, daños mecánicos o tamaño. Esta presentación es consumida por industrias procesadoras de alimentos, tales como fábricas de helados, bebidas, postres, lácteos, dulces, mermeladas u otras industrias que no requieran presentar al consumidor frutos enteros y visualmente atractivos, sino incorporar al producto final el sabor, el color, el aroma y la presencia de la zarzamora.

La calidad es un factor fundamental para seleccionar la fruta para consumo en congelado (IQF o bloque). Tecnológicamente, la congelación de alimentos puede ser hecha en forma lenta o rápida. La congelación lenta consiste en enfriar el producto en una cámara frigorífica, donde las bajas temperaturas se consiguen a un ritmo lento, de manera que los líquidos intracelulares forman grandes cristales de hielo que dañan los tejidos y alteran la textura del producto final. El otro sistema es la congelación rápida, que suele ser más eficaz para conservar las propiedades de la fruta fresca, ya que la temperatura del producto se hace descender con la mayor velocidad posible hasta -18°C .

Existen tres opciones comerciales de congelación rápida:

- a) Congelación por contacto indirecto o en bloque.
- b) Congelación por inmersión.
- c) Congelación por aire forzado.

Uno de los principales problemas de las zarzamora es su rápida perecibilidad postcosecha, debido principalmente a su textura blanda, susceptibilidad al ataque fungoso, poca resistencia al manipuleo y al transporte. Para la industrialización de los frutos deben considerarse los siguientes aspectos: ser procesados en el día de cosecha, deben ser frutos sanos sin defectos si el destino es IQF, de color uniforme, buen sabor y de semillas pequeñas. Para obtener un producto elaborado de buena calidad es necesario que la materia prima esté en buenas condiciones de madurez.

La fruta fresca proveniente del huerto, al ser ingresada a la industria, sufre un proceso caracterizado por las siguientes etapas:

- a) *Selección e inspección.* Esta operación elimina la fruta dañada, contaminada y sin la madurez adecuada ya que ésta podría alterar al resto de la materia prima e incrementar los costos de producción.
- b) *Lavado.* Es una operación que debe realizarse cuidadosamente; puede ser por inmersión en un estanque con agua o haciendo pasar la fruta bajo una ducha. El más recomendable es este último sistema, ya que reduce las pérdidas de sólidos y el daño a la materia prima. Si se lava con agua fría se mantiene firme la fruta, se reduce la lixiviación y el contacto con el aire, retardando la oxidación. En esta etapa se pretende remover el polvo, restos de insectos, restos vegetales, esporas de microorganismos y otros elementos que pudieran afectar la calidad del producto final.

- c) *Congelado*. Los frutos destinados a congelado IQF corresponden aun producto de primera selección puesto que debe poseer las mismas cualidades que el producto fresco, al cuál se le preservan sus características mediante el congelado.
- d) *Envasado de la fruta congelada*. El envasado es una etapa muy importante para la conservación de las características del alimento congelado, por lo que impone ciertos requisitos. Un buen envase para fruta congelada debe reunir las siguiente cualidades: Resistencia mecánica y gran duración, opacidad, flexibilidad, impermeabilidad a líquidos, gases y vapores; tamaño adecuado y de fácil manejo, bajo costo y atractiva presentación.
- e) *Almacenamiento de los productos congelados*. Las frutas conservadas por congelación deben mantenerse a una temperatura mínima constante de -18°C , durante todo el período en que el producto permanezca congelado. El aumento de la temperatura por encima de los -18°C ocasiona una reanudación inmediata de la actividad enzimática y bacteriológica, con el consiguiente deterioro del producto y peligro para el consumidor (Muñoz y Juárez, 1997).

3.5.3. Jugos concentrados.

Los jugos de zarzamora posee un excelente sabor y atractivo color: por esto se usan, además, para la preparación de jaleas, bebidas de fruta, helados, malteadas, vinos y otras bebidas. El procesamiento técnico del jugo es algo más complejo que el del congelado, principalmente por requerir equipos más sofisticados (Muñoz y Juárez, 1997).

3.5.4. Pulpa concentrada.

La elaboración de pulpa concentrada ha adquirido gran importancia, ya que es materia prima que posteriormente se procesa para obtener productos tales como: mermeladas, néctares, jugos, alimentos para infantes o bien, puede incorporarse a helados, yogures, pasteles, vinos, entre otros. En general, la tecnología del proceso es menos compleja que la requerida para jugos; sin embargo, por necesidades de equipos, en el proceso deben considerarse las economías de escala, lo cual obliga a un tamaño mínimo de planta no siempre al alcance de los productores (Muñoz y Juárez, 1997).

3.5.5. Deshidratados.

Otro producto agroindustrial que se obtiene de la zarzamora es el deshidratado en polvo. Este producto permite el almacenamiento prolongado, manteniendo sus cualidades organolépticas. La utilización de polvos de zarzamora deshidratadas es característica en la industria elaboradora de jugos, jaleas, postres y otros alimentos saborizados, como lácteos. Ante los crecientes volúmenes de producción, esta alternativa agroindustrial promete amplias perspectivas, sobre todo por requerir bajos costos de almacenamiento y transporte, además de elaborarse a partir de materias primas cuyas opciones de mercado son escasas, como las fruta que no tiene la calidad de exportación (Muñoz y Juárez, 1997).

3.5.6. Mermelada, jalea, ate y licores.

La agroindustria artesanal de zarzamora está empezando a adquirir cierta relevancia, que se espera aumente a medida que las producciones se estabilicen como se espera en el Estado de México. Así se ha logrado obtener una gran variedad de productos (tales como licores, jaleas, ates, mermeladas) que han tenido buena aceptación en el mercado local (Muñoz y Juárez, 1997).

La elaboración de mermeladas representa uno de los métodos más importantes para la preservación de frutas, sobre todo aquellas consideradas como subproductos. El principio de conservación se basa en la detección del desarrollo de microorganismos y otros factores de deterioro al obtener un medio con alta concentración de solutos y baja actividad del agua. En general, las mermeladas son productos preparados con frutas y concentrados con la adición de azúcar, más la evaporación de agua hasta el punto donde no puede ocurrir el desarrollo de microorganismos. La protección contra hongos en la superficie del producto se consigue por exclusión de oxígeno y protección contra la humedad. Uno de los factores de calidad de este tipo de productos es la consistencia o textura, para lo cuál resulta importante el manejo del contenido de pectinas. La formación de un gel depende del equilibrio Pectina-Azúcar-Ácido-Agua, por lo que la adición de azúcar afecta dicho equilibrio y desestabiliza la pectina con el consecuente cambio de las características de gelificación. Asimismo, la formación del gel ocurre sólo en un rango de pH, siendo el óptimo 3.1-3.2 (valores menores proporcionan un producto más duro y mayores no lo forman). El rango óptimo de sólidos es de 60-65 °Brix, siendo posible la formación de una fase de gel a menos de dicho rango, pero aumentando el nivel de pectina y de ácidos. También una concentración superior resulta en un gel con mayor consistencia (Muñoz y Juárez, 1997). La zarzamora contiene bajos niveles de pectinas y pH, por lo que la elaboración de mermeladas, requiere de la adición de estos compuestos y el ajuste del pH, mediante el uso de ácidos orgánicos (ácido cítrico entre otros) (Saucedo,1999).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. Ubicación del experimento.

4.1.1. Ubicación del área experimental.

En el presente trabajo la medición de los índices de madurez en frutos de zarzamora almacenados a -1°C y 6°C , se llevó a cabo en el laboratorio de cultivo de tejidos vegetales del área de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan, perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México y ubicada en Cuautitlan Izcalli, Estado de México a 2274 msnm a $19^{\circ}41'$ latitud norte y $99^{\circ}11'$ longitud oeste.

El monitoreo fenológico, cosecha y selección de frutos se realizaron en una superficie de 5,000 m² con propiedades iguales de suelo, aspecto, relieve y clima; perteneciente al Señor Ezequiel Miranda y ubicada en la zona I de la comunidad de San Juan Tezontla en el municipio de Texcoco a una altura de 2300 msnm (Figura 17), comprende el lugar de residencia de los habitantes, predomina la propiedad privada de la tierra, se dispone de agua de riego y las tierras son de buena calidad en general.



Figura 17. Localización geográfica de la comunidad de San Juan Tezontla, Texcoco.
FUENTE: Velásquez, 2004.

La comunidad se localiza a los 19°32'38" latitud norte y a los 98°48'49" longitud oeste del meridiano, a una altura promedio de 2320 m.s.n.m., colinda al sureste con San Miguel Tlaixpan, al suroeste con el pueblo de la purificación, al este con el rancho San Felipe de las Majadas, al Oeste con la propiedad de German Quintana y de Joaquín Apango (Figura 18). Su categoría política es de pueblo y administrativamente es considerada como delegación, asentada sobre un núcleo ejidal de 226.23 ha, a una distancia de 10 kilómetros de la cabecera municipal por la carretera federal México-Veracruz. La actividad económica principal es la agricultura y la fruticultura, los cultivos principales son la zarzamora, durazno, ciruela, manzana, tejocote, pera, higo, membrillo, capulín, frambuesa, chabacano y nopal; así como el maíz y frijol, se complementa con ganadería de traspatio de gallinas y cerdos (Díaz y Rentería, 1998; Ruiz, 2001).

El municipio de Texcoco se encuentra situado geográficamente en la zona oriente del Estado de México, ubicado a una longitud mínima 98°39'28", máxima 99°01'45" y latitud mínima 19°23'40" y máxima 19°33'41" y a una altitud media de 2,250 msnm., colinda al norte con Tepetlaoxtoc, Papalotla, Chiautla, Chiconcuac; al sur con Chimalhuacán, Chicoloapan e Ixtapaluca; al oeste con Atenco; al este con el Estado de Tlaxcala, al oriente con el Estado de Puebla; al norponiente, con Ecatepec y al poniente con Nezahualcóyotl (Figura 18). El clima se considera templado semiseco, con una temperatura media anual de 15.9°C, con heladas poco frecuentes en invierno y una precipitación pluvial media anual de 686 mm, siendo las lluvias más intensas en verano (Púlido y García, 2005).

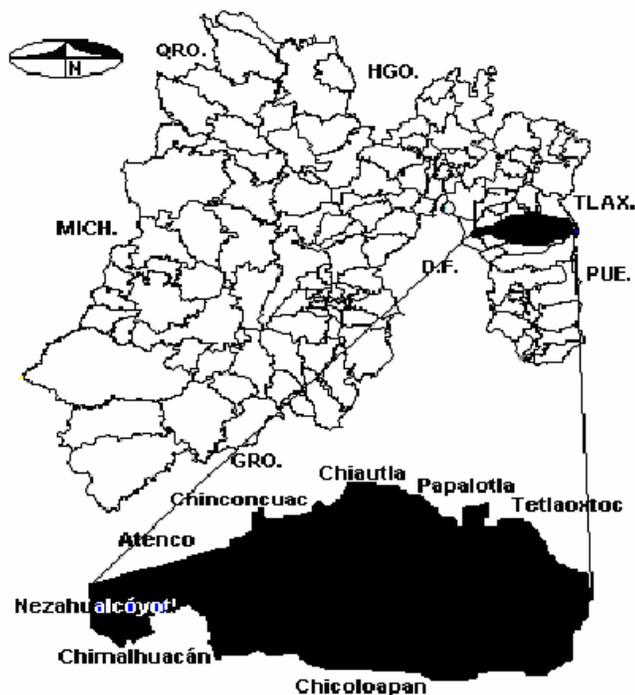


Figura 18. Localización geográfica del municipio de Texcoco.

4.1.2. Características del lugar de almacenamiento.

Refrigerador doméstico marca Kelvinator que combina un pequeño espacio para la congelación y otro comparativamente amplio para la refrigeración en dos compartimientos independientes (Figura, 19). Éste modelo contó con las siguientes características:

- Congelador vertical con puerta independiente de 60 cm de ancho x 35 cm de alto, capaz de congelar pequeñas cantidades de alimentos frescos a la vez que permiten conservar durante un periodo amplio de tiempo alimentos ya congelados (Hernández-Briz V., 1993). Cox (1987) informó que los congeladores domésticos están diseñados para mantener una temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Refrigerador con puerta independiente de 60 cm de ancho x 1.20 mts. de alto que mantuvo una temperatura de $6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

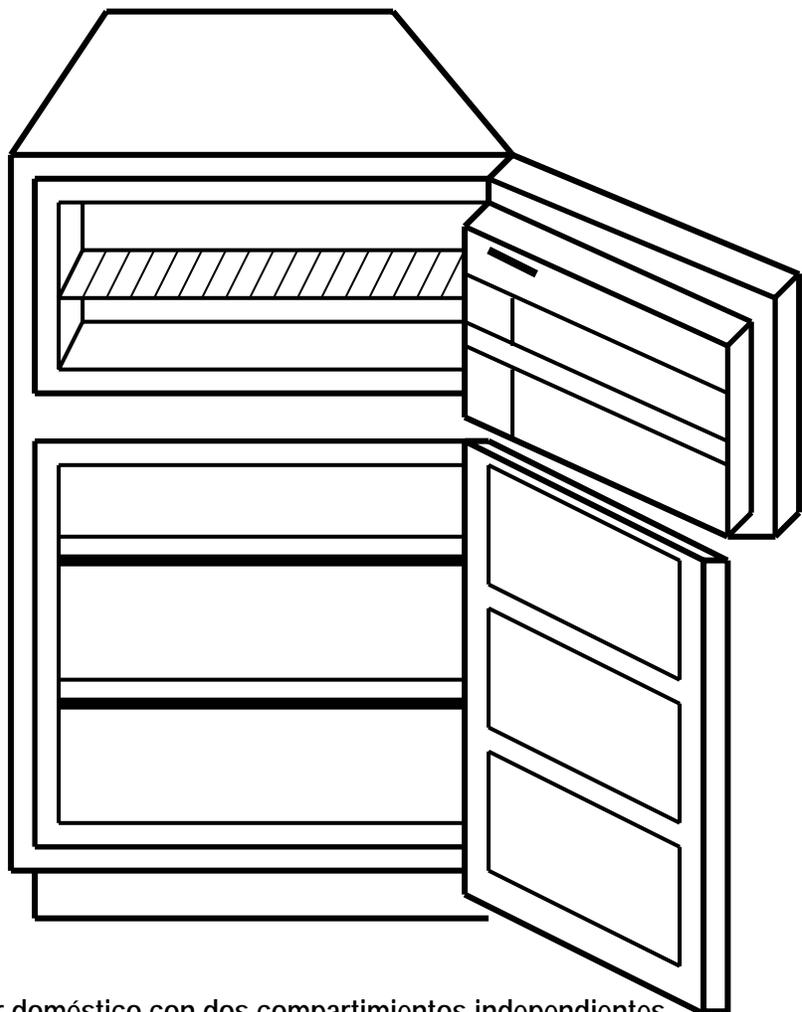


Figura 19. Refrigerador doméstico con dos compartimientos independientes.

4.2. Material Vegetal.

Se trabajo con zarzamora (*Rubus* spp.) cultivar *Cheyenne*, estas plantaciones cumplían su décimo año de establecidas en la región de San Juan Tezontla, Texcoco. Es un tetraploide de hábito erecto espinoso (Moore *et al.*, 1977) el cuál muestra al segundo año de establecida (Moore y Skirvin, 1990), es el tercero en una serie de cultivares de zarzamora desarrollados en la Estación Agrícola Experimental de Arkansas, de vigor intermedio entre 'Cherokee' y 'Comanche', y se adapta más ampliamente que 'Comanche'. Se origino en 1965 a partir de la crusa de *Darrow* x *Brazos* (Figura 20), se seleccionó de un campo en 1968 y se empezó a probar en 1969 (Moore *et al.*, 1977), fue introducida hasta 1976 (Moore y Skirvin, 1990).

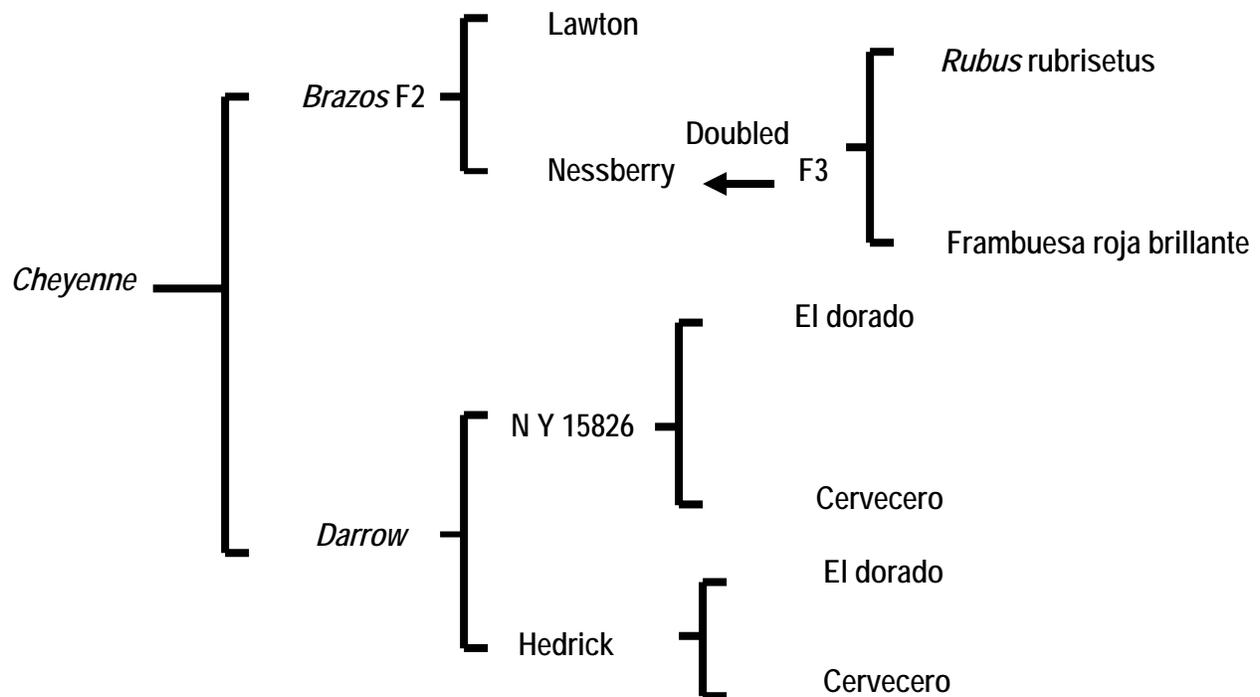


Figura 20. Genealogía de zarzamora cv. *Cheyenne*.

FUENTE: Moore, 1977.

Las plantaciones tienen altos rendimientos y son de fácil cosecha, accesible para mecanizar ya que las cañas son vigorosas y erectas (Figura 21 y 22) (Moore *et al.*, 1977; Moore y Skirvin, 1990; Muratalla *et al.*, 1999).

La floración puede iniciar en marzo o abril y tarda 50 días de flor a fruto, a la maduración los frutos son de color negro púrpura, firmes, dulces y muy grandes con un peso promedio de 6.3 g que se mantiene a lo largo de la estación (Figura 23), las semillas son pequeñas con un tamaño promedio de 2.7 mg y los productos procesados son comercialmente aceptables (Moore *et al.*, 1977; Moore y Skirvin, 1990; Muratalla *et al.*, 1999).



Figura 21. Plantación de zarzamora cv. *Cheyenne* en San Juan Tezontla.



Figura 22. Fructificación en la plantación de zarzamora cv. *Cheyenne*.



Figura 23. Fruto de zarzamora cv. *Cheyenne*.



Figura 24. Acondicionamiento de los frutos para el almacenamiento.

4.3. Manejo del experimento.

4.3.1. Selección de plantas.

En la fase de brotación vegetativa de las plantaciones de zarzamora, se seleccionaron 40 plantas al azar distribuidas en tres terrazas, a las cuales se les colocó una etiqueta amarilla enumerada para facilitar su identificación posterior.

4.3.2. Monitoreo fenológico.

Se realizó en las plantas seleccionadas un monitoreo visual desde la brotación vegetativa hasta la madurez, con la finalidad de identificar las fases fenológicas del cultivar y la fecha de ocurrencia, Villalpando y Corral (1993) mencionaron que a fin de que los datos obtenidos sean correctos, los campos muestreados debe ser tener una extensión de alrededor de 10 000 m² o mínimo 2 000 m² con propiedades similares en relación al tipo de suelo, aspecto, relieve, clima entre otros; recomienda realizar las observaciones tres veces por semana conservando un ritmo en lo que respecta al horario, preferentemente antes de las 10:00 hr.

Durante el registro de datos se utilizó como base la morfología de zarzamora presentada en Moore y Skirvin (1990) además de conceptos en relación a fenología agrícola definida por Villalpando y Corral (1993) y Torres (1995) como una rama de la agrometeorología, que estudia los fenómenos periódicos denominados fases y sus relaciones con algunos de los factores del clima que los cultivos experimentan en su desarrollo; entendiendo fase fenológica como la aparición, transformación o desaparición rápida de estructuras en los vegetales, el inicio, la plenitud y el fin sirve como medio para juzgar la rapidez y el desarrollo de las plantas.

4.3.3. Cosecha, selección y acondicionamiento de los frutos para el almacenamiento.

La cosecha se llevó a cabo del primero de mayo al siete de agosto del 2004 en las 40 plantas seleccionadas, con un lapso entre cosechas de una semana. Se realizó de manera manual, desprendiendo frutos sin daños fitosanitarios visibles y colocándolos con mucho cuidado en una canasta de plástico evitando que se aplastaran o dañaran, una vez terminada la actividad fueron trasladados inmediatamente a la sombra de la vegetación. Se tomaron como índice de cosecha el color negro púrpura homogéneo característico del fruto, consistencia firme, dura y la facilidad de desprendimiento.

La selección de frutos para el almacenamiento se realizó en campo, tomando al azar 35 frutos que se empacaron en un domo de plástico de 250 g cada uno asentado sobre su base, en total por fecha de cosecha se tuvieron dos domos de plástico a las cuales se les colocó una etiqueta con la fecha de cosecha para facilitar la identificación (Figura 24).

Una vez empacutados los frutos fueron inmediatamente almacenados en un refrigerador doméstico, un domo se introdujo en el congelador vertical a -1°C y otra en el refrigerador a 6°C .

4.3.4. Unidad de muestra.

10 frutos de zarzamora contenidos en un domo de plástico.

4.3.5. Tratamientos.

Se consideraron dos temperaturas -1°C y 6°C en tres periodos de almacenamiento 10, 20, y 30 días para 15 fechas de cosecha, dando un total de 90 unidades experimentales determinadas por 10 frutos de zarzamoras seleccionados al azar de un domo de plástico con 35 frutos en total.

4.4. Índices determinados y medidos.

4.4.1. Determinación de horas frío.

Las yemas de árboles frutales caducifolios de zonas templadas requieren durante el periodo de reposo la acumulación de frío para que una vez satisfechas las necesidades del cultivar puedan brotar y florecer hacia finales de invierno y principios de primavera (Almaguer, 1998; Díaz, 2002; Torres, 1995).

Como unidad de medida del frío invernal han sido utilizadas las horas frío que se definen como el número de horas que pasa la planta durante el periodo de reposo invernal a temperaturas iguales o inferiores a una umbral, siendo frecuente que esta temperatura umbral se fije en 7°C (Melgarejo, 1996).

Para el cálculo de las horas frío acumuladas en la región en el invierno de 2003-2004 se utilizaron datos de noviembre, diciembre, enero y febrero de la Estación experimental El Batán del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT aplicados al método indirecto Da Mota (1957) de uso común en México que estudia la correlación entre las horas frío y la temperatura media de los meses anteriormente mencionados mediante la fórmula siguiente (Almaguer, 1998; Melgarejo, 1996).

$$H.F. = 485.1 - 28.52 (X)$$

Donde:

H.F.: Horas frío acumuladas en una región.

X: Temperatura media mensual del mes considerado.

Por tanto, aplicando el valor de la temperatura media de cada mes en la fórmula anterior y sumando los resultados correspondientes se obtienen las horas frío de este período (Melgarejo, 1996).

4.4.2. Determinación de índices a base de cálculos.

Para la determinación de las unidades calor acumuladas en cada fase fenológica del cultivar *Cheyenne*, se utilizaron las temperaturas máximas y mínimas registradas en la Estación experimental El Batán del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT durante el período 2004 y una temperatura base de 4.5 °C reportada para frutales caducifolios, que por encima de ella la planta comenzará a crecer y por debajo el crecimiento y desarrollo se inhiben⁴, aplicado al método residual mediante la fórmula siguiente:

$$U.C. = \frac{\text{Temperatura Máxima} + \text{Temperatura mínima}}{2} - \text{Temperatura base}$$

U.C. : Unidades calor para un día

Este método es de fácil cálculo y aplicación ya que ha mostrado mejor ajuste con los requerimientos térmicos de los cultivos y permite calcular los días que han de transcurrir desde la salida del reposo hasta la plena floración (Melgarejo, 1996; Torres; 1995).

La determinación de los días transcurridos desde la floración hasta la maduración se realizó sumando el total de días que pasan desde que aparecen las primeras flores en las plantas hasta la fecha en que el fruto adquiere el color y sabor típicos de la variedad.

⁴ Cruz, P. F. 1994. Tópicos Selectos de la Producción Agrícola Actual, Fenología agrícola e Índices de acumulación de temperatura. UNAM, México. 48 p.

4.4.3. Índices de calidad fisicoquímicos.

4.4.3.1. Medición de volumen.

Cada uno de los frutos se introdujo en una probeta graduada con 70 ml de agua, el desplazamiento en el nivel indico el volumen (Figura 25 y 26).

4.4.3.2. Medición de peso.

Cada uno de los frutos se pesaron en una balanza granataria Nora OHAUS Modelo GT 4000 (Figura 27).

4.4.3.3. Medición de diámetro polar y ecuatorial.

El diámetro polar se midió con un vernier de manera longitudinal de la base del pedúnculo al ápice (Figura 28) y el diámetro ecuatorial en su sección mayor (Figura 29).

4.4.3.4. Medición de sólidos solubles totales.

De cada fruto, se extrajeron unas gotas de jugo que se colocaron sobre un refractómetro manual ATAGO N-1aBx para medir de manera directa la lectura, que se expreso como °Brix. La escala de °Brix representa el peso de la sacarosa en 100g de solución (Figura 30 y 31).

4.4.3.5. Medición de pH.

El pH se midió del jugo total de 10 frutos de zarzamora de manera directa mediante el uso de un potenciómetro Hanna HI 8521 (Figura 32 y 33).



Figura 25. Método práctico para medir el volumen de los frutos en una probeta graduada.

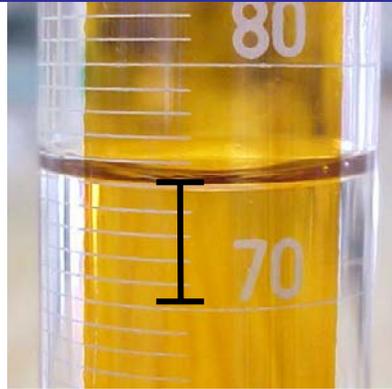


Figura 26. Desplazamiento en el nivel de agua que indica el volumen de un fruto.



Figura 27. Peso de un fruto en una balanza granataria Nora OHAUS Modelo GT 4000.

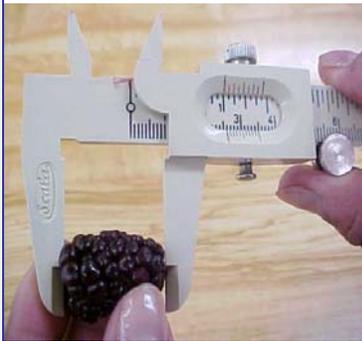


Figura 28. Medición del diámetro polar con un vernier.

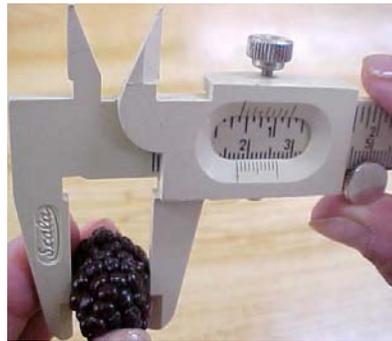


Figura 29. Medición del diámetro ecuatorial con un vernier.



Figura 30. Medición de sólidos solubles totales con el refractómetro manual ATAGO N-1aBx.



Figura 31. Lectura expresada en °Bx con el refractómetro manual ATAGO N-1aBx.

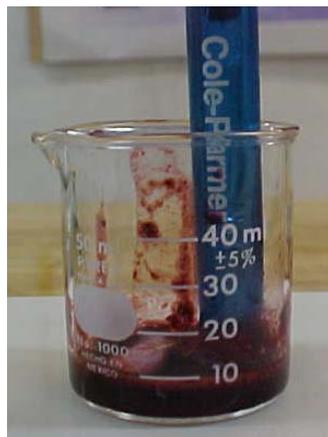


Figura 32. Medición de pH con el potenciómetro Hanna HI 8521.



Figura 33. Lectura directa de pH en el potenciómetro Hanna HI 8521.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. Resultados obtenidos de las mediciones fisicoquímicas de frutos de zarzamora almacenados en frío.

Las mediciones fisicoquímicas obtenidas en frutos de zarzamora almacenados a -1°C y 6°C una vez cumplidos los periodos establecidos de 10, 20 y 30 días, se presentan a continuación.

5.1.1. Volumen.

La fruta almacenada en el congelador doméstico a -1°C presentó un promedio de 4.47 cm^3 que representa mayor volumen que las de 6°C que tuvieron 3.80 cm^3 (Figura 34) teniendo un 15% de disminución. Este comportamiento se atribuye a la separación o aislamiento del agua cuando los frutos son congelados ya que se forman cristales de hielo que provocan una expansión de volumen principalmente en alimentos con un alto contenido de agua (Cox, 1987; Holdsworth, 1988; Wills *et al.*, 1998) como la zarzamora que contiene aproximadamente 85.6% de éste líquido (López, 2006). De acuerdo con Cox (1987) los frutos que tienen un alto contenido de agua presentan puntos de congelación entre 0°C y -4°C zona conocida como de máxima formación de cristales y los efectos de la velocidad de congelación se demuestran perfectamente en estos productos (Holdsworth, 1988). De la curva de congeladas a refrigeradas se presentó una disminución de volumen a los 10 días del 14%, a 20 días 17% y finalmente a 30 días 48% (Figura 34).

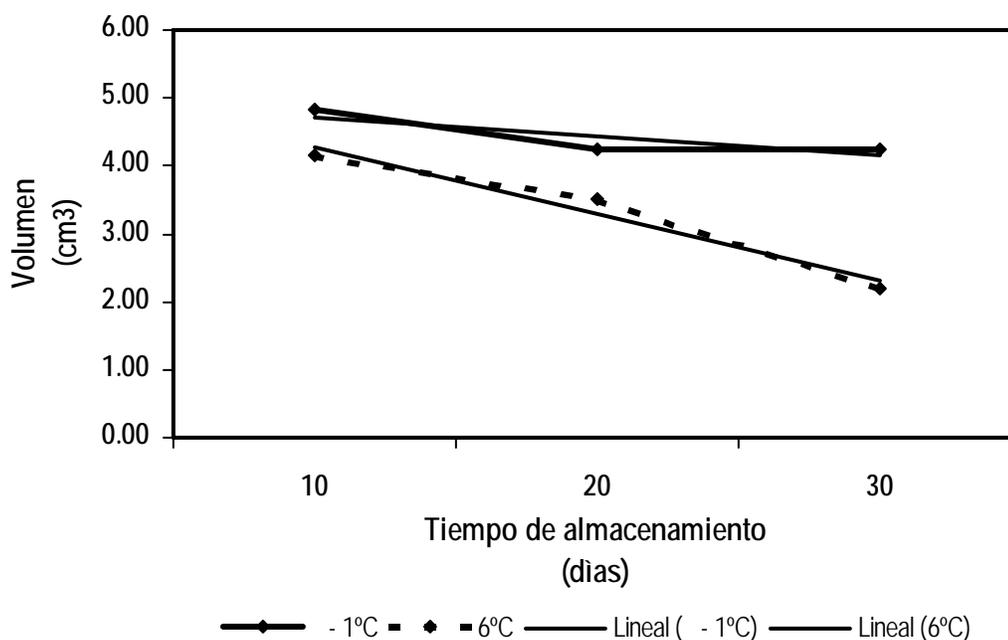


Figura 34. Comportamiento de volumen en zarzamorras almacenadas en frío durante 10, 20 y 30 días.

Las zarzamorras almacenadas a -1°C presentaron un volumen promedio de 4.82 cm^3 a los 10 días y terminaron a los 30 días en 4.24 cm^3 (Figura 34), teniendo una disminución del 12%. Como la velocidad de congelación fue lenta, se formaron cristales de hielo grandes en los espacios intercelulares (Cox, 1987; Holdsworth, 1988) por ello a los 10 días la expansión fue notable manifestándose en un mayor volumen, bajo estas condiciones sigue el crecimiento de cristales que provoca una disminución de la cantidad de agua aunado a la deshidratación y desnaturalización gradual de las células (Cox, 1987; Holdsworth, 1988; Torres, 1995; Wills *et al.*, 1998). A pesar de ser la congelación un medio eficaz para conservar los alimentos (Muñoz y Juárez, 1997; Wills *et al.*, 1998) el almacenamiento trajo consigo la pérdida de volumen que se traduce en mala textura y reducción de la vida útil (Figura 48).

Hubo una disminución de volumen del 47% en frutos de zarzamora almacenados a 6°C , a los 10 días presentaron 4.16 cm^3 para finalizar a 30 días con 2.21 cm^3 (Figura 34). Una vez sometidos los frutos a las condiciones de enfriamiento los procesos fisiológicos se redujeron (Díaz, 2002; Wills *et al.*, 1998) la continuación de los mismos de manera lenta y gradual provocó el deterioro que trajo como consecuencia la reducción de volumen y firmeza en los tejidos. Los frutos mantuvieron su volumen en condición aceptable hasta los 15 días de almacenamiento (Figura 49) posteriormente se redujo notablemente la vida útil del producto, ya que después de esta fecha empezó el desarrollo de microorganismos (Figura 50) como *Botrytis* y *Penicillium* (Figura 52) los cuáles mencionó Agrios (1999) son hongos muy comunes que ocasionan pérdidas considerables en frutos almacenados.

La presencia de encharcamiento tisular a partir de los 20 días (Figura 51) y el volumen abundante de agua que tienen los frutos de zarzamora proporcionó un medio ideal para el crecimiento y multiplicación de los microorganismos patógenos. Agrios (1999), Cox (1987) y Wills *et al.* (1998) mencionaron que la liberación de metabolitos como aminoácidos, azúcares y sales minerales, al exterior de la célula, junto con la degradación de la estructura celular, proporciona excelentes sustratos para el desarrollo de los gérmenes patógenos y a medida que la maduración progresa y entra a la senescencia, los hongos se aprovechan de la fuga de fluidos celulares derivado de los efectos adversos de la temperatura. La pérdida de agua atribuible a la transpiración aunada a las lesiones provocadas por los patógenos en las superficies tisulares provoca una disminución de volumen.

Cabe señalar que se compraron zarzamoras en un centro comercial puestas en anaquel a 12°C, la medición de volumen de 10 frutos resulto en un promedio de 3.78 cm³ (Figura 35).

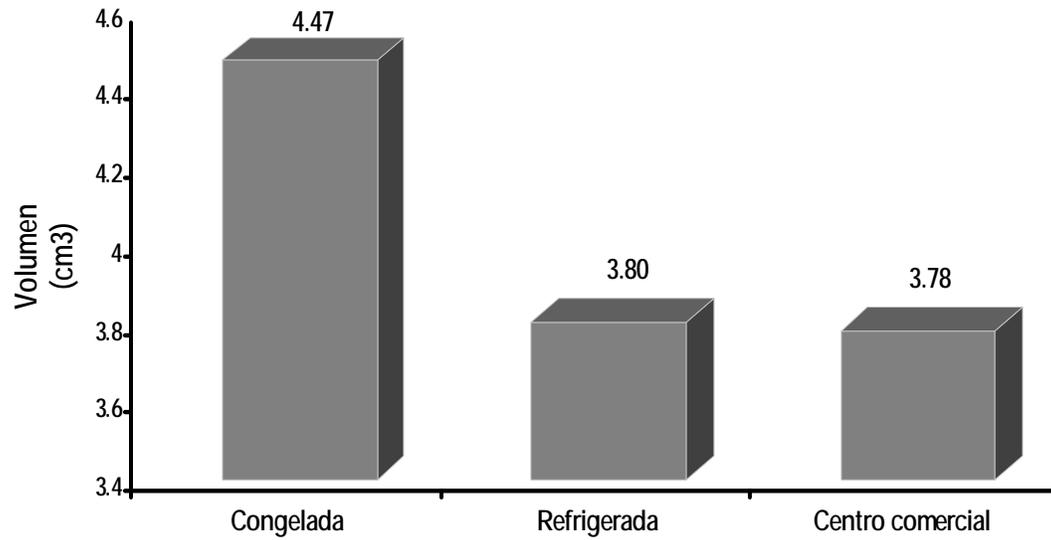


Figura 35. Promedio de volumen en zarzamoras almacenadas en frío.

5.1.2. Peso.

El peso de frutos almacenados a -1°C fue mayor que en los de 6°C (Figura 36) teniendo un promedio para los primeros de 4.37 g y 3.79 g los segundos, entre estos dos tratamientos se presentó el 13% de disminución. Los factores que contribuyeron a que el peso en frutos almacenados a -1°C fuera mayor que en los refrigerados fue la formación lenta de cristales de hielo y la variación de presión de vapor, ya que a la temperatura del congelador, la presión de vapor ejercida por las moléculas de agua en el aire en contacto con los cristales de hielo es menor que la disponible por el agua no congelada, y por ello hay una tendencia a que las moléculas de agua migre hacia los cristales ya formados y se agregue a ellos (Cox, 1987). A los 10 días hay 14% de disminución de peso de la curva de -1°C a 6°C , 19% a 20 días y 45% al llegar a 30 días (Figura 36).

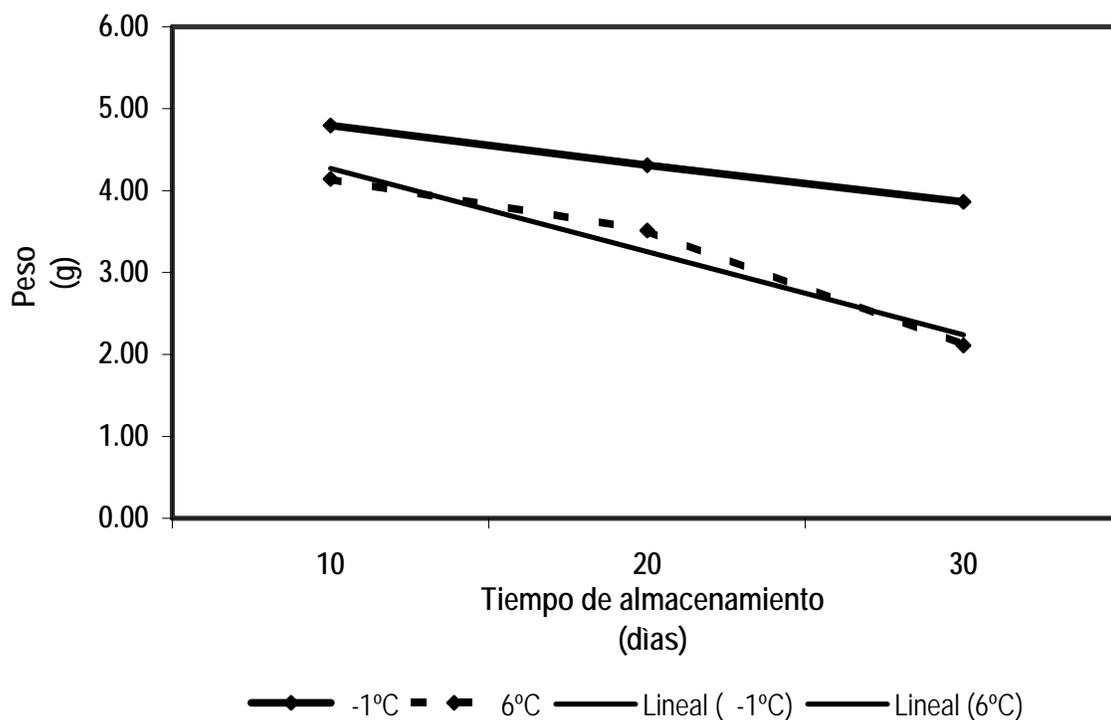


Figura 36. Comportamiento de peso en zarzamoras almacenadas en frío durante 10, 20 y 30 días.

Las zarcamoras congeladas presentaron 4.80 g a los 10 días y 3.86 g al llegar a los 30 días (Figura 36), teniendo 19% en disminución de peso. Como la velocidad de congelación fue lenta de igual manera lo fue la deshidratación de las estructuras celulares (Cox, 1987; Holdsworth, 1988; Wills *et al.*, 1998) por ello al cumplirse los primeros 10 días de almacenamiento se presentó el mayor peso. El crecimiento de los cristales de hielo intercelularmente continuo y la salida de agua de las células provocó en ellas su desecación, contracción, deformación y hasta su muerte (Almaguer, 1998; Cox, 1987; Wills *et al.*, 1998) manifestado en pérdida gradual de peso a pesar de ser la congelación un medio eficaz para conservar los alimentos (Muñoz y Juárez, 1997; Wills *et al.*, 1998). La descongelación de los mismos trajo consigo mala textura y reducción de la vida útil (Figura 48). Holdsworth (1988) mencionó que los efectos de la velocidad de congelación se demuestran perfectamente con los productos que tienen un alto contenido en agua como en este fruto.

Los frutos almacenados a 6°C presentaron una disminución de peso del 49% el cuál fue variando gradualmente en función del tiempo, a los 10 días el promedio fue de 4.14 g y 2.11 g al llegar a los 30 días (Figura 36). De acuerdo con Wills *et al.* (1998) el peso de un fruto es un indicativo de calidad. En este caso la pérdida de peso comercial y el arrugamiento de las frutas se atribuye al agotamiento gradual de las reservas en los procesos fisiológicos y en mayor proporción a la pérdida de humedad asociada directamente al grosor de su cutícula, daños mecánicos y posterior ataque de patógenos (Wills *et al.*, 1998). Los frutos tuvieron su mayor peso a los 10 días y se mantuvieron en condición aceptable hasta los 15 días de almacenamiento (Figura 49) después de este periodo el peso del fruto se vio afectado por el desarrollo de microorganismos (Figura 50) como *Botrytis* y *Penicillium* (Figura 52) que crecieron y multiplicaron rápidamente debido a la fuga de fluidos celulares que presentaron los frutos a los 20 días (Figura 51) que hace que los frutos no puedan ser consumidos o que tenga un valor de venta nutricional y precio de venta demasiado bajo (Agrios, 1999). Estos aspectos junto con la degradación de la estructura celular proporcionaron un medio ideal para la reducción de la vida útil de los frutos al llegar a los 30 días (Figura 53).

Agrios (1999) mencionó que los mohos grises como *Botrytis* continúan desarrollándose, aunque con mayor lentitud, incluso a 0°C y que ocasionan anualmente pérdidas considerables en muchas hortalizas y frutos carnosos almacenados; en el caso de *Penicillium* es el más común y a menudo el más destructivo de todas las enfermedades de postcosecha, con frecuencia a ellos se debe más del 90% de la descomposición de los frutos durante su transporte, almacenamiento y en el mercado.

Los frutos de centro comercial puestas en anaquel a 12°C presentaron un peso promedio de 3.81 g (Figura 37).

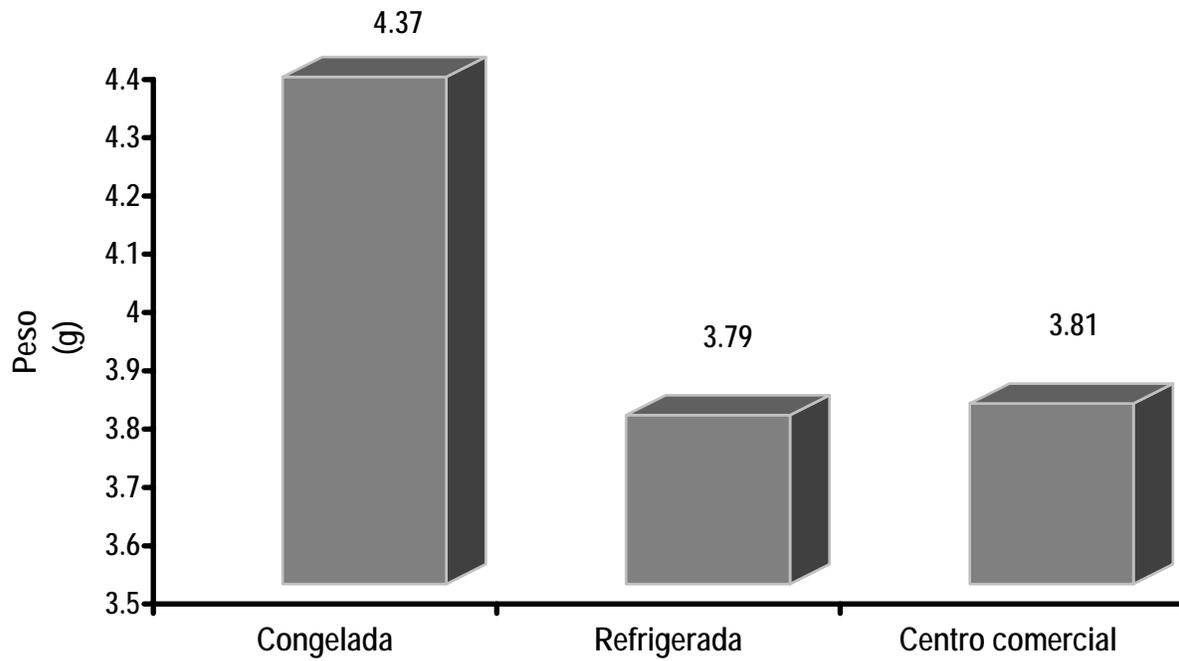


Figura 37. Promedio de peso en zarzamoras almacenadas en frío.

5.1.3. Tamaño.

El promedio del diámetro ecuatorial en frutos almacenados a -1°C fue de 1.80 cm y en los refrigerados a 6°C de 1.69 cm con una disminución de 6% (Figura 38).

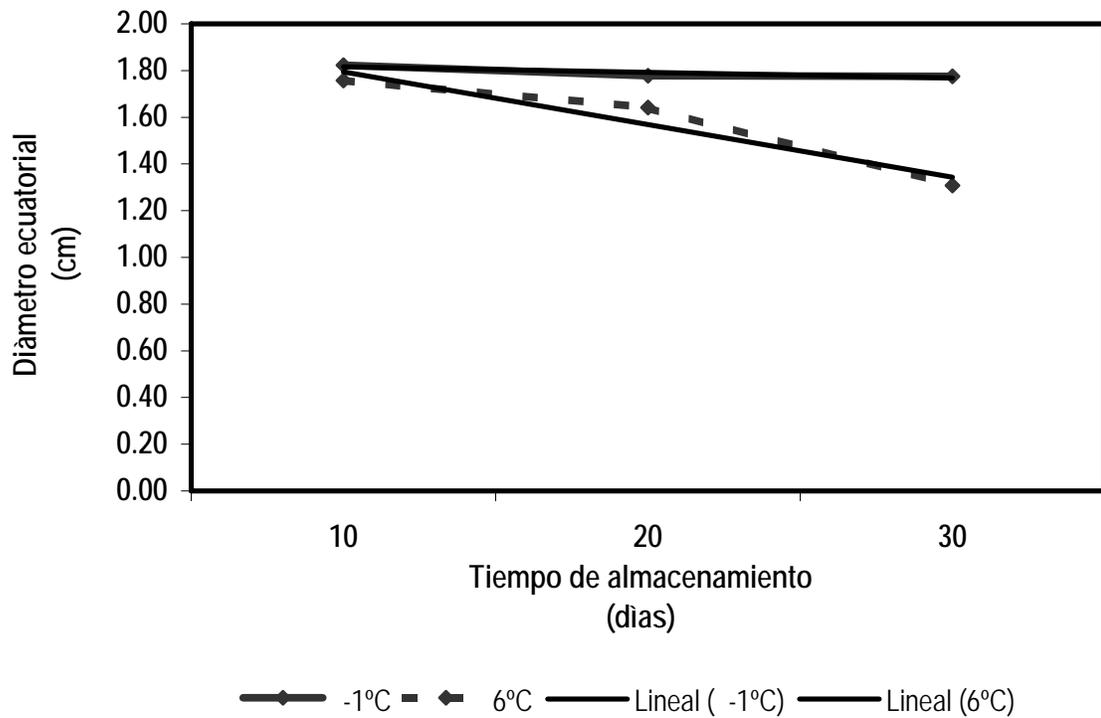


Figura 38. Comportamiento del diámetro ecuatorial en zarzamoras almacenadas en frío durante 10, 20 y 30 días.

Los frutos almacenados a 6°C tuvieron un promedio de diámetro polar de 2.29 cm y los congelados 2.37 cm, con una disminución de 3% (Figura 39).

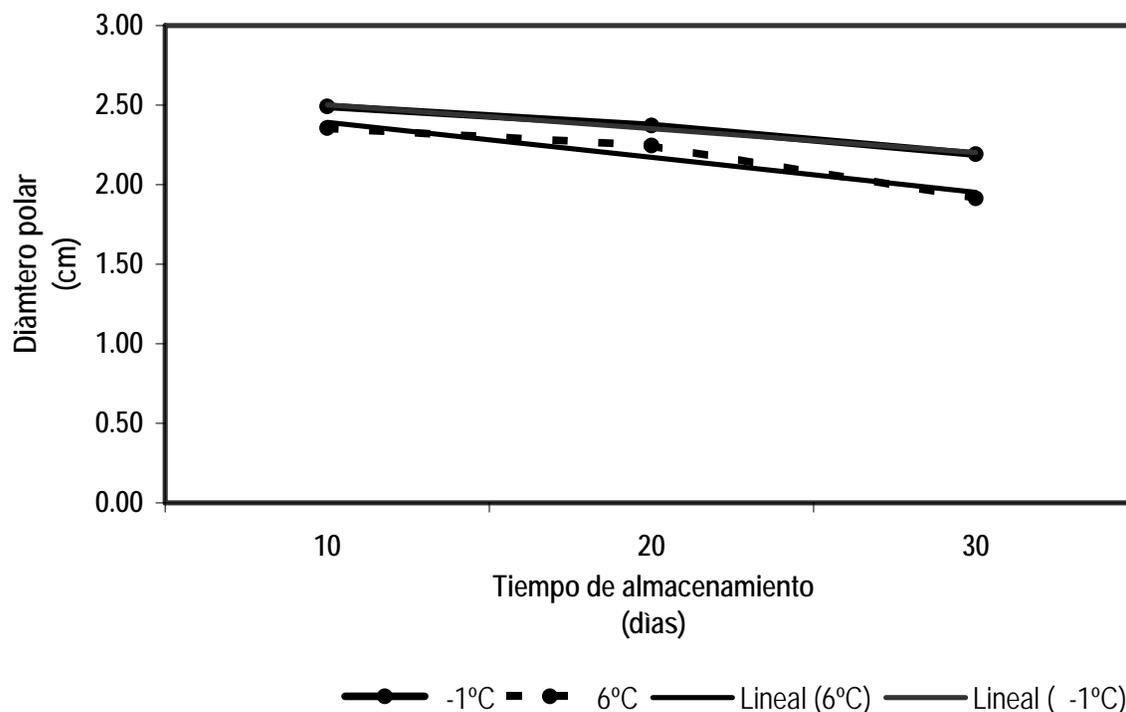


Figura 39. Comportamiento del diámetro polar en zarzamoras almacenadas en frío durante 10, 20 y 30 días.

Se observa en la Figura 38 y 39 que los frutos almacenados a -1°C tuvieron mayor diámetro ecuatorial y polar, este comportamiento se atribuye a la expansión de volumen provocada por la formación de cristales de hielo dando como resultado una desorganización y alteración de la estructura celular (Cox, 1987; Holdsworth, 1988).

Los frutos congelados presentaron una disminución de diámetro ecuatorial y polar no fue mayor a 3% (Figura 38 y 39), esto debido a que los procesos fisiológicos disminuyen grandemente a temperaturas por abajo de 0°C , por ello los cambios físicos se mantienen constantes y no varían mucho. Sin embargo a pesar de ser la congelación un medio eficaz para conservar los alimentos (Muñoz y Juárez, 1997; Wills *et al.*, 1998), el almacenamiento causó pérdida de tamaño, la descongelación de los mismos trajo consigo mala textura y reducción de la vida útil (Figura 48). Holdsworth (1988) mencionó que los efectos de la velocidad de congelación se demuestran perfectamente con los productos que tienen un alto contenido en agua como en este fruto.

Durante el periodo de almacenamiento los frutos a 6°C presentaron una disminución de diámetro ecuatorial del 26% y polar del 19% (Figura 38 y 39) debido a que conforme avanzaba el tiempo bajo las condiciones de enfriamiento se fueron perdiendo de manera lenta en el proceso de respiración y de transpiración las sustancias de reserva y el contenido de agua en los frutos manteniendo su tamaño en condición aceptable hasta los 15 días de almacenamiento (Figura 49) posteriormente se perdió la integridad celular al llegar a los 30 días (Figura 53) debido al desarrollo de microorganismos (Figura 50) como *Botrytis* y *Penicillium* (Figura 52). Agrios (1999) mencionó que los frutos que contienen volúmenes abundantes de agua constituyen sustratos excelentes para el ataque de microorganismos patógenos *Botrytis* y *Penicillium* que son los más comunes y a menudo los más destructivas de todas las enfermedades de postcosecha.

Los frutos de centro comercial en anaquel a 12°C, tuvieron mayor diámetro ecuatorial y menor diámetro polar que las refrigeradas (Figura 40 y 41).

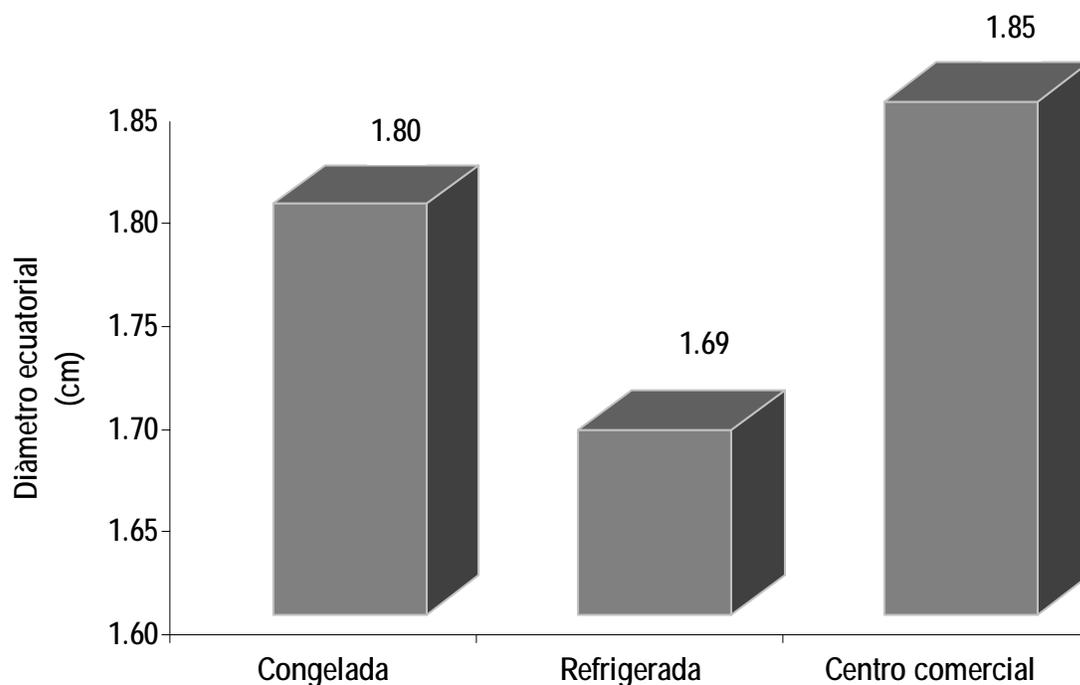


Figura 40. Promedio del diámetro ecuatorial en zarzamoras almacenadas en frío.

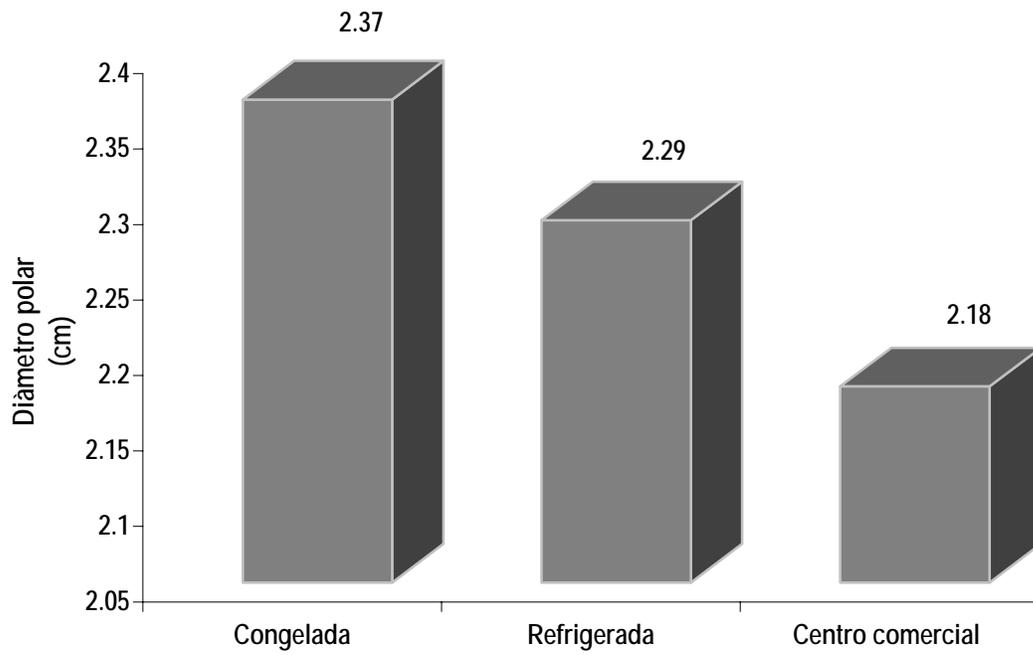


Figura 41. Promedio del diámetro polar en zarzamoras almacenadas en frío.

5.1.4. Forma.

Westwood (1982) mencionó que la relación entre el diámetro ecuatorial y polar es el parámetro más conveniente para expresar la forma del fruto, sólo que ésta es una medida para comparar frutos al comienzo y final de la estación de crecimiento, los cuáles estabilizan su forma antes de la recolección. En el presente trabajo esta relación se utilizó para proporcionar una idea de la forma que adquirieron las zarzamoras al someterse a condiciones de almacenamiento en frío, de acuerdo al caracol de Pascal mencionado en Westwood (1982) donde los valores cercanos a uno presentan una forma ancha.

La relación promedio entre el diámetro ecuatorial y polar en frutos almacenados a -1°C fue de 0.76 cm y en las refrigeradas de 0.74 cm teniendo un disminución del 3% (Figura 42).

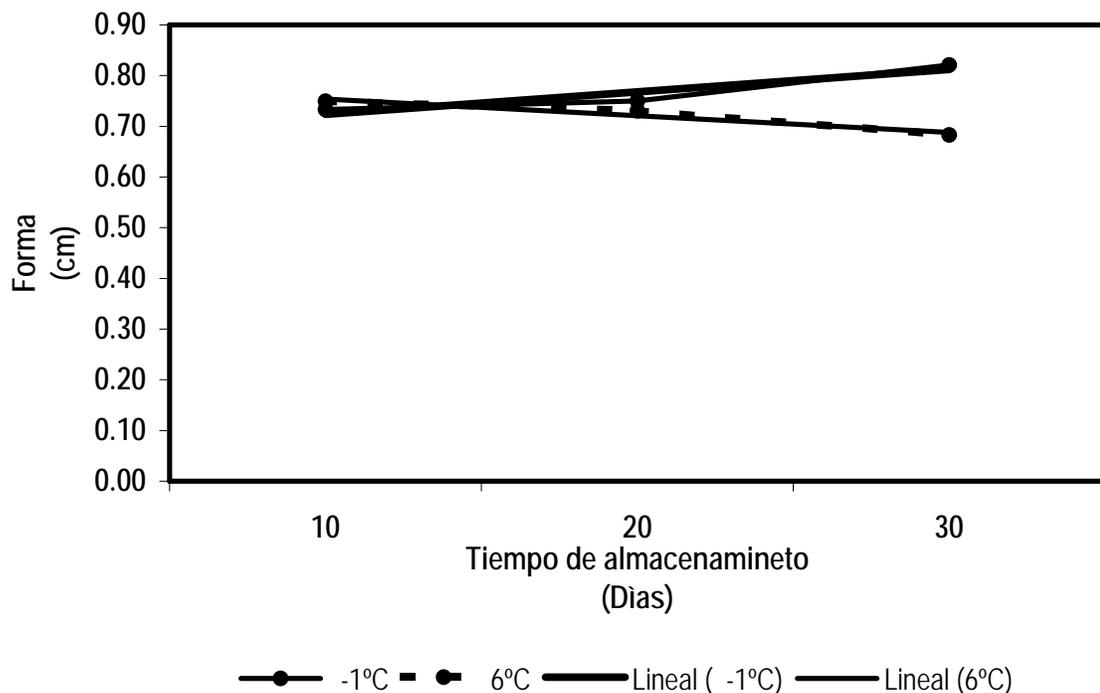


Figura 42. Comportamiento de la forma en zarzamoras almacenadas en frío durante 10, 20 y 30 días.

A los 10 días las frutas almacenadas a -1°C presentaron una relación entre el diámetro ecuatorial y polar de 0.73 cm terminando a los 30 días con 0.82 cm (Figura 42) con una tendencia en base al caracol de Pascal a ser 11% más anchas. Al congelarse los frutos se forman de manera lenta cristales de hielo grandes que provocó en ellos la alteración física de su estructura celular expresado en una forma más ancha es decir en la expansión de volumen (Cox, 1987; Holdsworth, 1988; Wills *et al.*, 1998). La descongelación de los frutos provocó pérdida de forma, por lo tanto mala textura y reducción de la vida útil (Figura 48).

Los frutos almacenados a 6°C tuvieron a los 10 días una relación entre el diámetro ecuatorial y polar de 0.75 cm finalizando con 0.68 cm a 30 días (Figura 42), en este caso hubo una disminución de la anchura del fruto del 9%. La anchura del fruto se mantuvo en condición aceptable hasta los 15 días de almacenamiento (Figura 49) debido a la poca pérdida de reservas alimenticias y del contenido de agua en la continuación de los procesos fisiológicos. El fluido celular liberado por los frutos (Figura 51) entre los 15 y 20 días proporcionó un medio ideal para el crecimiento y multiplicación de microorganismos (Figura 52 y 53) que contribuyó enormemente al deterioro de los frutos manifestándose en la debilitación de las paredes celulares, deshidratación de tejidos, pérdida de volumen, peso, firmeza y por tanto una alteración de la forma las frutos.

En la Figura 43 la relación entre el diámetro ecuatorial y polar es mayor en los frutos de centro comercial, comparado con los refrigerados resultaron ser más anchos.

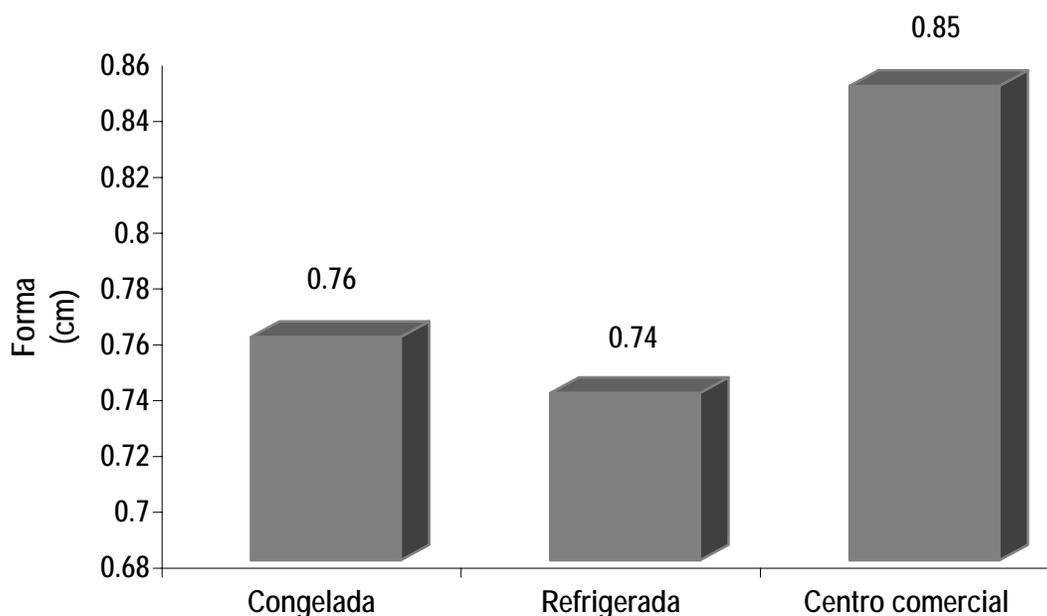


Figura 43. Promedio de forma en zarzamoras almacenadas en frío.

La forma de los frutos puede ser importante desde el punto de vista económico, la combinación del tamaño y la forma es también un índice útil para la determinación de la madurez comercial de los productos, que se refleja en el volumen (Westwood, 1982; Wills *et al.*, 1998).

5.1.5. Sólidos solubles Totales.

El contenido de sólidos solubles durante los primeros 20 días fue mayor en frutos refrigerados a 6°C que disminuyó al avanzar el tiempo de almacenamiento, en cambio los congelados a -1°C mantuvieron prácticamente un equilibrio (Figura 44). Este comportamiento se explica debido a que en frutos congelados los procesos metabólicos se reducen aun más que en los refrigerados y en éstos últimos la degradación de carbohidratos durante el proceso de respiración altero el contenido de °Bx.

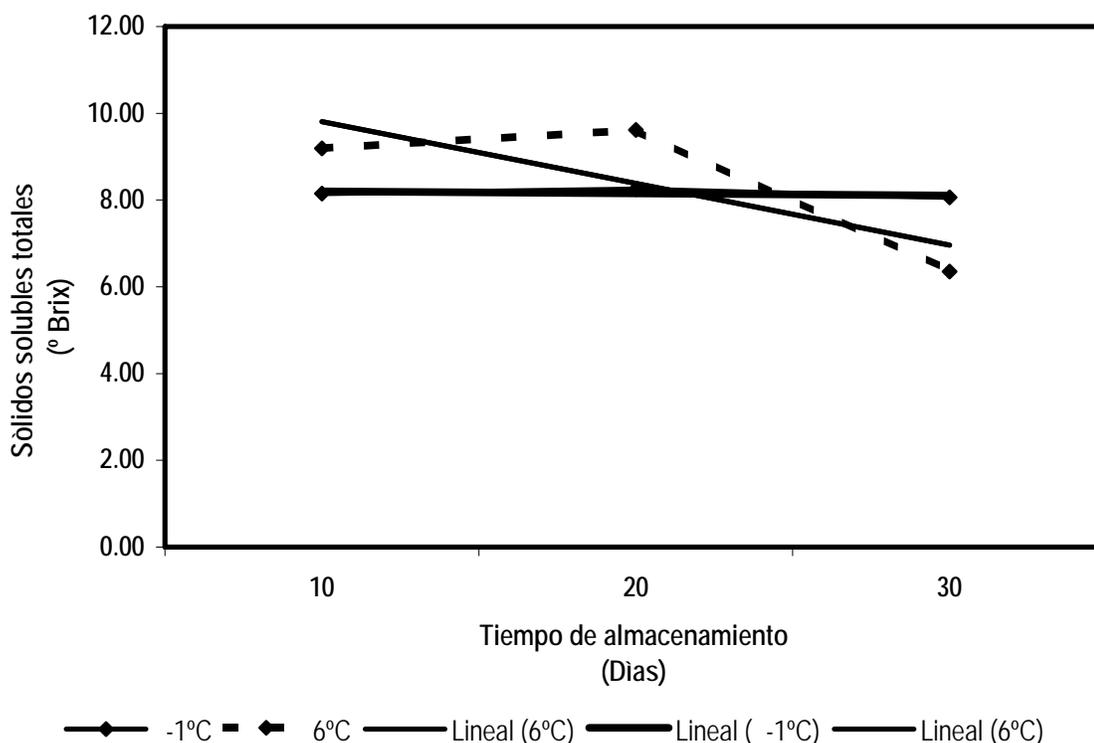


Figura 44. Comportamiento del contenido de sólidos solubles totales (° Brix) en zarzamoras almacenadas en frío durante 10, 20 y 30 días.

En frutos almacenados a 6°C el contenido de sólidos solubles promedio fue de 9.08°Bx y en congelados 8.16 °Bx (Figura 44), teniendo una diferencia del 10%, el que los congelados presentaran menor cantidad de °Bx se atribuye a la liberación rápida de azúcares y fluidos celulares que presentaron los frutos al descongelarse (Figura 48), no siendo capaces las células de reanudar su metabolismo normal ni de recuperar agua, reservas y su textura que se traduce en mala textura y reducción de la vida útil (Muñoz y Juárez, 1997; Wills *et al.*, 1998).

Desde el punto de vista de fisiología postcosecha con el almacenamiento de frutos a temperaturas bajas se reduce el ritmo respiratorio alterando entre otros aspectos el equilibrio de los azúcares ya que disminuye la utilización de azúcar en este proceso (Hobson, 1993; Holdsworth, 1998; Hotchkiss, 1992; Liu, 1992).

La disminución entre curvas a los 10 fue del 11%, a los 20 días 14% y a los 30 días de congeladas a refrigeradas del 21% (Figura 44).

Como se puede observar en Figura 44 la curva de frutos almacenados a -1°C presentó 1% de disminución en el contenido de sólidos solubles, partiendo a los 10 días con 8.15 °Bx y terminando a los 30 días con 8.06 °Bx. Este comportamiento se atribuye a que bajo congelación se reducen grandemente los procesos metabólicos, sin embargo hay que señalar el registro de 8.25 °Bx a los 20 días, pudiendo ser frutos cosechados que acumularon gran cantidad de azúcares liberando una proporción al momento de tomar la medición.

En lo que se refiere a frutos almacenados a 6°C éstos partieron a los 10 días con un contenido de sólidos solubles de 9.19 °Bx, a 20 días se registraron 9.61 °Bx y posteriormente hubo un descenso gradual al llegar a los 30 días finalizando en 6.35 °Bx (Figura 44) traduciéndose en 31% de pérdida. Cabe mencionar que los frutos no climatéricos como la zarzamora acumulan sus niveles adecuados de azúcares manteniéndose en la planta durante toda su maduración (Díaz, 2002; Hobson, 1993; Wills *et al.*, 1998) por lo que una vez cosechados quedan dependientes de estas reservas alimenticias y de su contenido de agua que empiezan a ser utilizados o degradados en la actividad enzimática y los procesos vitales, provocando entre otras cosas una disminución de °Bx. Bajo las condiciones de enfriamiento el deterioro se llevo a cabo a un ritmo lento prolongando la vida útil del fruto en cuanto al contenido de azúcares hasta por 15 días (Figura 49).

El aumento en contenido de sólidos solubles que se observa en la Figura 44 a los 20 días se atribuye a que en estos frutos los azúcares acumulados que aun degradándose en los procesos metabólicos se encontraban en gran cantidad, por lo que no precisamente hubo aumento, FAO (1993) y López (2003) mencionaron que en frutos no climatéricos el contenido en azúcares y ácidos orgánicos postcosecha no sigue aumentando.

El comportamiento que se observa en la Figura 44 con respecto a la curva de frutos refrigerados a partir de los 15 días indica que la pérdida de sustratos continuo y no fue compensado, lo que trajo consigo la continua reducción de azúcares así como de volumen, peso, tamaño y firmeza de los tejidos, a esto también se atribuye la liberación de azúcares y sales minerales al exterior de la célula (Figura 51) como síntoma físico de lesión de frío (Wills *et al.*, 1998) que junto con la degradación de la estructura celular proporciono excelentes sustratos para que se desarrollaran una gran cantidad de microorganismos (Figura 50) como *Botrytis* y *Penicillium* (Figura 52) contribuyendo a la desintegración celular del fruto a los 30 días (Figura 53). Aunado a lo anterior la pérdida de agua promovió también la deshidratación llevando consigo una rehumidificación y facilitando así el crecimiento de los microorganismos incrementando a su vez las pérdidas de agua (Wills *et al.*, 1998). Por lo tanto el sabor de los frutos que en su mayor parte esta dado por la presencia de azúcares disminuye y los hace menos dulces perdiendo así su aceptabilidad, calidad nutritiva y su vida útil (Almaguer, 1998; Enciclopedia Agropecuaria Terranova, 1995; Wills *et al.*, 1998).

Las zarzamoras de centro comercial presentaron un contenido de sólidos solubles menor que las de 6°C (Figura 45).

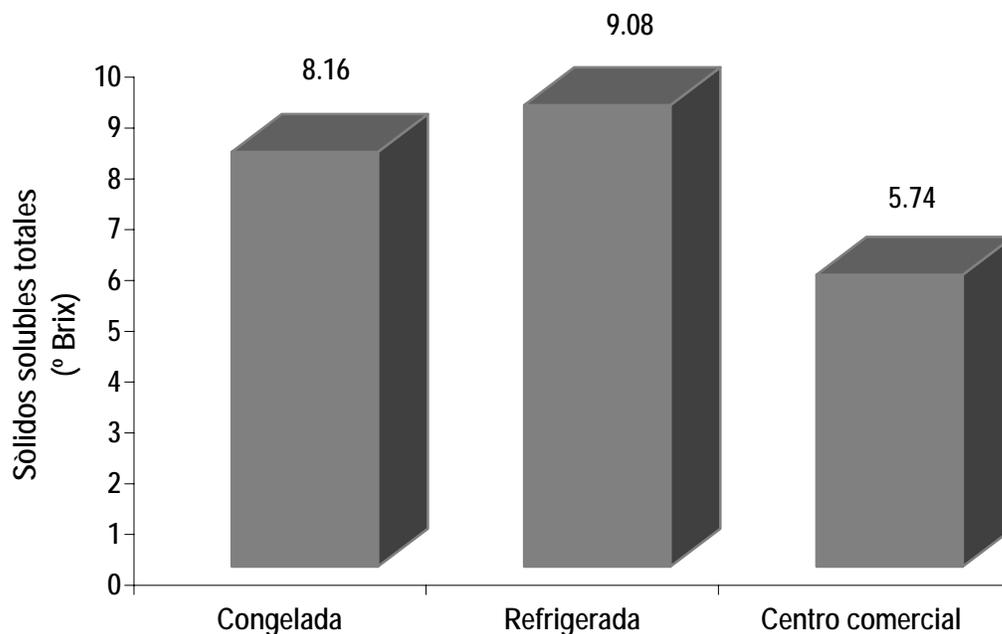


Figura 45. Promedio de contenido en sólidos solubles totales (° Brix) en zarzamoras almacenadas en frío.

5.1.6. pH.

Los frutos de zarzamora almacenados a -1°C presentaron un valor de pH de 4.04 y los de 6°C de 4.53 (Figura 46). Bravo y Rodríguez (2003) mencionó que los valores de pH que van desde 4 hasta 6.9 son considerados como ácidos débiles, los cuáles producen un sabor agrio, en base a esta información se puede decir que los frutos congelados conservaron más su acidez que los refrigerados. En frutos sometidos a temperaturas de 0°C o menos la actividad enzimática y los procesos vitales disminuyen grandemente por lo que la degradación de azúcares y ácidos orgánicos es muy lenta, es decir se conservan las reservas alimenticias por mayor tiempo alargando así la vida útil del producto, sin embargo al ser descongelados se pierden rápidamente ver Figura 49 (Lira, 1994; Wills *et al.*, 1998). En los frutos almacenados a 6°C la pérdida de sustratos junto con la liberación de fluidos celulares y la presencia de microorganismos provocó la disminución de acidez, teniendo así a los 10 días de la curva de -1°C a la de 6°C el 9% de disminución en el valor de pH, a 20 días el 15% y finalmente a 30 días 31% (Figura 46).

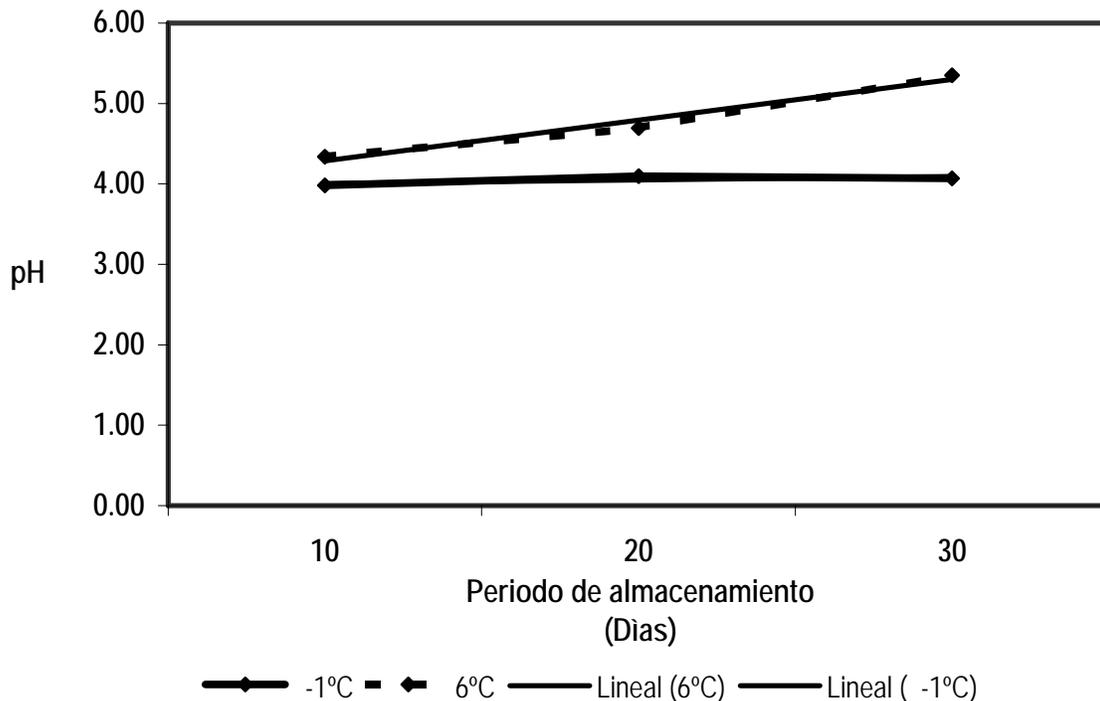


Figura 46. Comportamiento de pH en zarzamoras almacenadas en frío durante 10, 20 y 30 días.

Las zarzamoras almacenados a -1°C partieron a los 10 días con un valor de pH de 3.98 y terminaron a los 30 días en 4.07 teniendo una pérdida de acidez del 2% (Figura 46) que se atribuye a la conservación de reservas alimenticias a través del almacenamiento en congelación donde los procesos metabólicos se reducen a temperaturas inferiores a la crítica (Wills *et al.*, 1998), aunque la cantidad de sustratos reservados por el fruto al momento de ser cosechados pudo influir en el comportamiento durante el almacenamiento. La pérdida de ácidos orgánicos es mayor cuando los frutos son descongelados debido a la liberación rápida de agua con el restos de los sustratos (Figura 48) que se traduce en mala textura y reducción de la vida útil (Muñoz y Juárez, 1997; Wills *et al.*, 1998). Holdsworth (1988) mencionó que los efectos de la velocidad de congelación se demuestran perfectamente con los productos que tienen un alto contenido en agua como en este fruto.

Los frutos almacenados a 6°C tuvieron una pérdida de acidez del 23% iniciando a los 10 días con un valor pH de 4.34 y finalizando a 30 días en 5.35 (Figura 46) cabe mencionar que tras la recolección las frutas continúan respirando y transpirando, y como han perdido contacto con la fuente de agua, fotosintatos y minerales, dependen exclusivamente de sus reservas alimenticias azúcares, ácidos orgánicos, proteínas, grasas, lípidos y de su propio contenido de agua (Díaz 2002; Wills *et al.*, 1998). La pérdida de acidez se atribuyen al agotamiento irreversible de las reservas del fruto al avanzar el tiempo de almacenamiento y al encharcamiento tisular que se presentó entre los 15 y 20 días (Figura 51), consecuencia de una lesión por frío provocada por la temperatura a la que fueron sometidas las zarzamoras basado en la liberación de metabolitos, como aminoácidos, azúcares, ácidos orgánicos y sales minerales, al exterior de la célula, que junto con la degradación de la estructura celular y la liberación de vapor de agua por la transpiración proporcionaron excelentes sustratos para el desarrollo de microorganismos patógenos (Figura 50) como *Botrytis* y *Penicillium* (Figura 52). Agrios (1999) mencionó que prácticamente no hay fruto fresco que no sea atacado por *Botrytis* cuando son almacenados, en cuando a *Penicillium* es de los hongos más comunes y a menudo el más destructivo de todas las enfermedades postcosecha, son en esencia patógenos postcosecha y con frecuencia a ellos se debe más del 90% de la descomposición de los frutos durante su transporte, almacenamiento y en el mercado.

El crecimiento y multiplicación de los microorganismos hasta llegar a los 30 días provocó la pérdida total de los frutos (Figura 53). Wills *et al.* (1998) mencionó que los patógenos pueden causar grandes pérdidas si las condiciones ambientales de temperatura, pH y actividad de agua son favorables para su crecimiento. En este caso el pH del tejido hospedador pudo actuar como medio selectivo para la velocidad de desarrollo de la infección en las frutas, las cuáles ofrecen generalmente un pH inferior a 4.5 y son alteradas fundamentalmente por los hongos que degradan los tejidos provocando el deterioro del producto y por tanto contribuyendo a modificar el pH de las zarzamoras. Cabe mencionar que la variación de pH en las zarzamora influye en la estabilidad de las vitaminas y antocianinas ocasionando su destrucción (Barrera, 2003).

Debido a los anteriores aspectos se concluye que bajo las condiciones de enfriamiento a 6°C los frutos de zarzamora mantienen su acidez y su contenido de sólidos solubles en condición aceptable hasta los 15 días de almacenamiento (Figura 49). Wills *et al.* (1998) mencionó que el sabor deseado de una determinada fruta exige un balance adecuado de azúcares y ácidos, la disminución de éstos reduce su vida útil.

Las zarzamoras de centro comercial sometidas a una temperatura de 12°C presentaron un valor de pH más ácido que las refrigeradas (Figura 47).

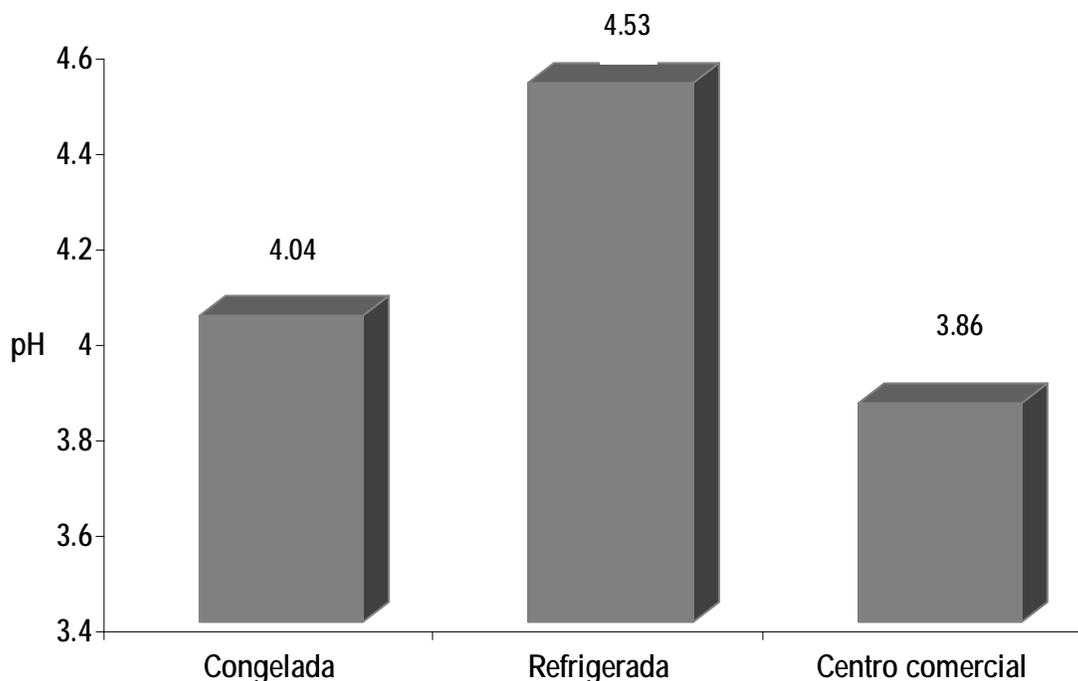


Figura 47. Promedio de pH en zarzamoras almacenadas en frío.

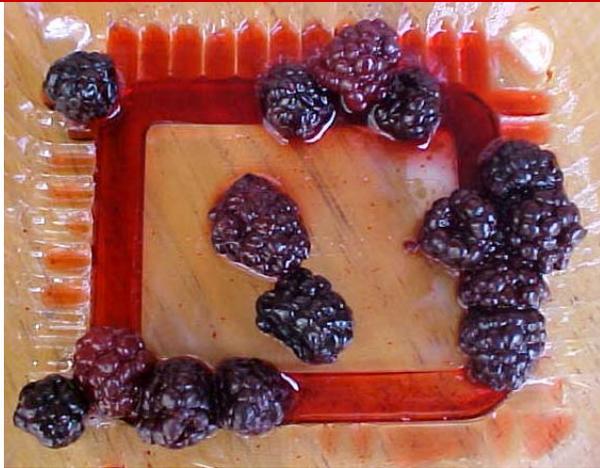


Figura 48. Efectos de la velocidad de congelación en frutos de zarzamora almacenados a -1°C .



Figura 49. Frutos de zarzamora almacenados a 6°C durante 15 días.



Figura 50. Desarrollo de microorganismos en frutos de zarzamora almacenados a 6°C a partir de los 15 días.



Figura 51. Encharcamiento tisular en frutos de zarzamora almacenados a 6°C entre los 15 y 20 días.



Figura 52. Presencia de microorganismos como *Botrytis* y *Penicillium* en frutos de zarzamora almacenados a 6°C .



Figura 53. Frutos de zarzamora almacenados a 6°C durante 30 días.

5.2. Modelo fenológico de zarzamora cv. *Cheyenne*.

Con los datos registrados en el monitoreo se realizó un modelo fenológico de zarzamora cv. *Cheyenne*, para la región de San Juan Tezontla, en el que se incluye horas frío e índices de cosecha a base de cálculos (Figura 54), además una descripción y esquematización de las fases fenológicas (Cuadro 13 y Figura 55). El registro llevado a cabo en 40 plantas de la misma variedad y edad en las fases de desarrollo del cultivar, en una superficie de 5,000 m² con propiedades similares, y con observaciones hechas tres veces por semana, representan las ventajas del modelo. La mayor limitante fue haber realizado el trabajo de un solo ciclo pues Villalpando y Corral (1993) mencionó que para cultivos perennes se deben tener datos fenológicos de varios años para que puedan ser comparables.

Moore y Skirvin (1990) mencionaron que las plantas de zarzamora pasan por un período de reposo que inicia en otoño y termina en la primavera y que se han realizado estudios pequeños del tiempo y longitud de esta inactividad, sin embargo el requerimiento de frío fisiológico no se ha establecido bien y los resultados han indicado que este requisito varía entre los cultivares. En el invierno del 2003-2004 en la región de San Juan Tezontla se acumularon 501.28 horas frío para terminar el periodo de reposo del cultivar *Cheyenne* (Figura 54).

Se determinaron 786.9 unidades calor acumuladas y 61 días transcurridos de floración a maduración (Figura 54 y Cuadro 13), Moore y Skirvin (1990) mencionaron que éste período en la zarzamora varía entre 40 y 60 días dependiendo del cultivar. Muratalla *et al.*, (1999) mencionó que la variedad *Cheyenne* tarda 50 días de flor a fruto, esto indica que la temperatura afecta la fenología de los cultivos.

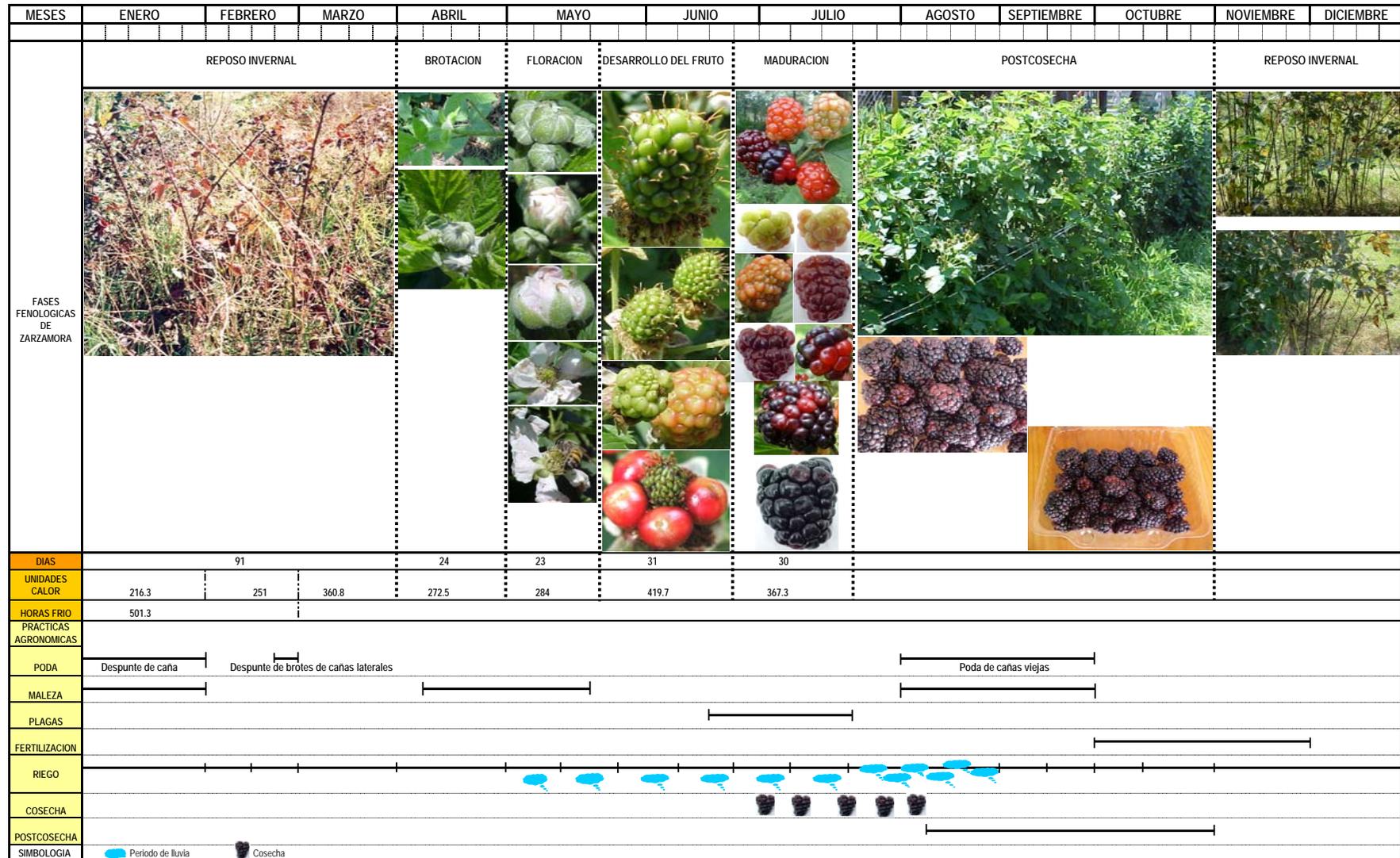
En la Figura 54 y en el Cuadro 13 se presenta en forma acumulativa la constante térmica que requirió el cultivar en cada fase fenológica durante el 2004, teniendo 2171.45 unidades calor acumuladas en total de enero hasta la fecha en que se cosecharon la mayor parte de los frutos.

De la fase de brotación a maduración se determinaron 77 días y se consideraron siete días más quedando en 84 días ya que la ocurrencia no es exacta debido a los factores climáticos, entre otros; la fase de madurez duro 30 días (Cuadro 13 y Figura 54) variando el periodo como mencionaron Moore y Skirvin (1990) de 4 a 7 semanas dependiendo de las condiciones.

Cuadro 13. Constante térmica en cada fase fenológica de la zarzamora cv. *Cheyenne* Ciclo 2004.

Fases fenológicas	Característica	Fecha a partir del:	Días	Unidades calor
Brotación vegetativa	Fecha en que aparecen los botones vegetativos.	01 - 24 abril	24	272.5
Brotación	Momento en que aparecen los primeros botones florales, conocida como la fase de la palomita de maíz.	17 mayo	23	284
Floración	Momento en que las inflorescencias presentan las primeras flores.			
Cuajado y desarrollo del fruto	Fecha en el fruto aparece incipiente ya amarrado y aun envuelto por algunos residuos florales, inician su desarrollo y alcanzan su máximo tamaño.	17 junio	31	419.65
Madurez de consumo	Fecha en que el fruto adquiere el color y sabor típicos de la variedad.	17 julio	30	367.25
			108	1343.40 Constante térmica

Figura 54. Modelo fenológico de zarzamora (*Rubus* spp.) cv. Cheyenne para San Juan Tezontla, Mpo de Texcoco Estado de México
Ciclo 2004



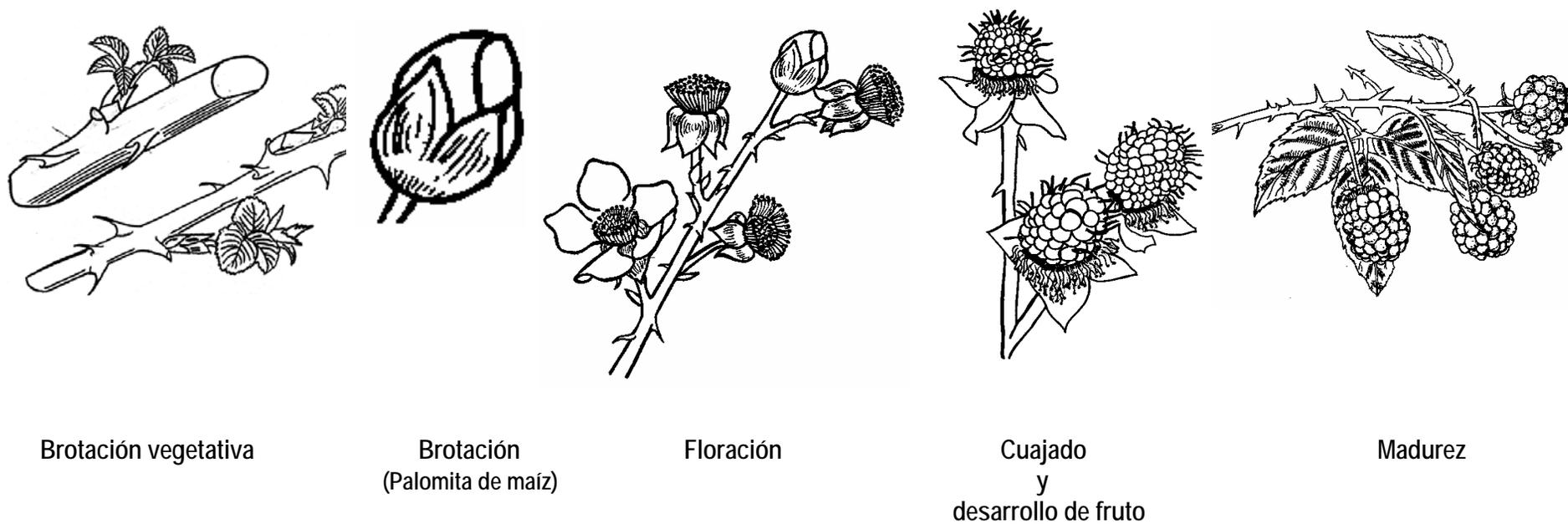


Figura 55. Principales fases fenológicas de la zarzamora (*Rubus* spp.) cv. *Cheyenne*.

VI. CONCLUSIONES.

1. La vida poscosecha de la zarzamora es afectada por la temperatura de conservación del fruto, prolongando la misma al almacenarlos en frío.
2. El volumen, peso, tamaño, ancho de forma y acidez de los frutos de zarzamora fue mayor en los conservados a -1°C que en los refrigerados a 6°C durante el periodo de almacenamiento de 30 días.
3. El contenido de sólidos solubles en los frutos de zarzamora durante los primeros 20 días de almacenamiento fue mayor en los conservados a 6°C , posteriormente disminuyó al avanzar el periodo de tiempo; en cambio los congelados a -1°C presentaron muy baja pérdida de sólidos, manteniendo prácticamente un equilibrio durante el tiempo de almacenamiento de 30 días.
4. Se logro mantener en condiciones aceptables el volumen, peso, tamaño, ancho de forma, contenido de sólidos solubles y acidez de los frutos de zarzamora almacenados a -1°C durante los 30 días establecidos, sin embargo la congelación lenta dio lugar a que una vez expuestos a temperatura ambiente se produjera una elevada pérdida de liquido exudado provocando una reducción de la vida útil y mala textura.
5. La conservación de zarzamora a -1°C durante 30 días, provoca una disminución de volumen y peso, bajas pérdidas de diámetro, largo, sólidos solubles y acidez además de que se modifica la forma de los frutos llegando a ser más anchos.
6. Los frutos de zarzamora conservados a 6°C a partir del primer periodo de almacenamiento (10 días) empiezan a tener pérdidas de volumen, peso, tamaño, ancho de forma, y acidez que van aumentando al transcurrir el periodo de almacenamiento. Los sólidos solubles totales aumentan al llegar a los 20 días y posteriormente decrece el nivel ligeramente al llegar al tercer periodo (30 días).

7. La vida útil de los frutos de zarzamora almacenados a 6°C fue de 15 días, pues a partir de éste periodo se presenta encharcamiento tisular junto con la degradación de la estructura celular que proporciona excelentes sustratos para el desarrollo de microorganismos como *botrytis* y *penicillium* que llegan en alta incidencia al tercer periodo (30 días); por lo que se considera que son 15 días en donde las características fisicoquímicas de los frutos se encuentran en condición aceptable y sin presencia de microorganismos.
8. Los frutos de zarzamora procedentes de centro comercial presentaron menor volumen y contenido de sólidos solubles totales que los almacenados a 6°C, mayor peso, anchura de fruto y acidez, por lo que se considera que los frutos de la región de San Juan Tezontla, Texcoco conservados a la temperatura de 6°C tienen mejores características fisicoquímicas que se pueden ofertar.
9. Las observaciones visuales hechas a la plantación de zarzamora (*Rubus* spp.) cv *Cheyenne* durante el ciclo 2004 en la región de San Juan Tezontla, Texcoco, permitieron identificar y describir sus fases fenológicas, además de realizar un modelo fenológico único registrado en esta comunidad.
10. Durante el ciclo 2004 en la plantación de zarzamora (*Rubus* spp.) cv *Cheyenne* de la región de San Juan Tezontla, Texcoco se determinó una constante térmica de brotación vegetativa a madurez de 1343.40 unidades calor acumuladas con una temperatura base de 4.5°C (Fueron 61 días transcurridos de floración a maduración). Mientras que durante el periodo de latencia en el invierno del 2003-2004 se acumuló un total de 501.28 horas frío.

VII. RECOMENDACIONES.

1. Es recomendable almacenar frutos de zarzamora a una temperatura de 6°C hasta por 15 días sin daños significativos en su calidad fisicoquímica, pues después de éste período empieza a presentarse encharcamiento tisular y crecimiento de microorganismos.
2. Se recomienda la posibilidad de emplear cubiertas fisiológicas y digeribles para una mayor vida en postcosecha.
3. Se recomienda la búsqueda continua de información acerca de las condiciones óptimas de almacenamiento que permitan prolongar la vida útil del fruto y reducir el desarrollo de microorganismos.
4. Es recomendable realizar observaciones fenológicas para varios de producción en la plantación de zarzamora de la región de San Juan Tezontla, para determinar los días transcurridos desde floración hasta la cosecha y la cantidad de unidades calor necesarias para completar su ciclo vegetativo, con la finalidad de poder hacer una comparación que permita tener un pronóstico de las fases fenológicas y una programación de las actividades agrícolas.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Agrios, G. N. 1999. Fitopatología. 2a. ed. Editorial Limusa, México, D.F. pp. 454-468.
- Almaguer V., G. 1998. Principios de fruticultura. 3a. ed. Editorial Mundi-Prensa, México, D.F. pp. 61-120, 171-178, 337-366.
- Aragón S., N. 1992. Problemas fitopatológicos durante postcosecha y su control. pp. 73-81. *In*: E. M. Yahia e I. Higuera (ed.). Fisiología y tecnología postcosecha de productos hortícolas. Editorial Limusa, México, D.F.
- Barrera M., S. 2003. Factores diversos en la coloración irregular en zarzamora. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Bravo T., J. y Rodríguez H., J. 2003. Química 3 Cálculos y compuestos del carbono. 2a. ed. Editorial Exodo, México, D.F. pp 89-113.
- Cano M R. y Rodríguez A. J. 1989. Caracterización del fruto de cinco cultivares de zarzamora erecta (*Rubus spp*). Memorias Congreso Nacional SOMECH. III. pp 31-33
- Chávez-Franco, S. 1996. Propiedades biomecánicas de los frutos, caso zarzamora. pp. 165. *In*: Memoria Curso de Actualización. Frutales con futuro en el comercio internacional. Fundación Salvador Sánchez Colín. CITAMEX. S.C. México.
- Chávez F., S. 1999. Manejo precosecha y postcosecha de frambuesa y zarzamora. pp. 78-82. *In*: A.C. Rico, A. Muratalla, M. Livera y V. A. González (ed.). Primer curso de capacitación para productores de zarzamora en el Estado de Guerrero. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Colinas L., M. 1992. Desórdenes fisiológicos de productos hortícolas. pp. 65-71. *In*: E. M. Yahia e I. Higuera (ed.). Fisiología y tecnología postcosecha de productos hortícolas. Editorial Limusa, México, D.F.
- Cox, P. M. 1987. Ultracongelación de alimentos: Guía de la teoría y práctica. Traducción al español de J. Ordoñez y M. Díaz. Editorial Acribia, Zaragoza, España. pp. 6-41.

- Cronquist, A. 1977. Introducción a la botánica. 2a. ed. Editorial continental, México, D.F. pp 651-677.
- DeEll, J. R., R. K. Prange and H. W. Peppelenbos. 2003. Postharvest Physiology of fresh fruits and vegetables. pp 455-483. In A. Chakraverty, A.S. Mujumdar, G.S. Vijaya, H.S. Ramaswamy (ed.). Handbook of Postharvest Technology: Cereals, Fruits, Vegetables, Tea, and Spices. Edited by Marcel Dekker, Inc. New York, U.S.A.
- Díaz M., D. 2002. Fisiología de árboles frutales. AGT Editor, México, D.F. pp 211-285.
- Díaz M., G. y Rentarías S. M. 1998. Monografía del municipio de Texcoco. Enciclopedia de los Estados de México.
- Enciclopedia Agropecuaria Terranova. 1995. Ingeniería y Agroindustria, Tomo V. Editores Terranova, Bogota, Colombia. pp. 107-147.
- FAO. 1993. Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos. Manual de capacitación N° 17/2. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. 84 p.
- FAO. 1987. Cosecha y empaque, Parte I. Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 96 pp.
- FAO. 2006. Tabla de composición de alimentos de América Latina. C624: Zarcamora. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 1 p.
- Hernández-Briz, V. F. 1993. Conservas caseras de alimentos. 2a. ed. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. pp 11-13, 165-178.
- Hobson, G. E. 1993. Maduración del fruto. pp. 463-477. In: Azcon-Bieto, J. y M. Talon (ed.). Fisiología y Bioquímica Vegetal. Editorial Mc Graw Hill, Madrid, España.
- Holdsworth, S.D. 1988. Conservación de frutas y hortalizas. Traducción al español de J. Palacios. Editorial Acribia, Zaragoza, España. pp. 1-28, 107-120.

- Hotchkiss, J. H. 1992. Empacado de productos hortícolas. pp. 127-147. *In*: E. M. Yahia e I. Higuera (ed.). Fisiología y tecnología postcosecha de productos hortícolas. Editorial Limusa, México, D.F.
- Hulme, A.C. 1970. The Biochemistry of Fruit and their Products, Vol II. Academic Press London and New York.
- Kader, A. A. 1992. Índices de madurez, factores de calidad, normalización e inspección de productos hortícolas pp. 49-57. *In*: E. M. Yahia e I. Higuera (ed.). Fisiología y tecnología postcosecha de productos hortícolas. Editorial Limusa, México, D.F.
- Kader, A. A. 1983. Postharvest Quality Maintenance of Fruits and Vegetables in Developing Countries. *In*: Lieberman, M., Post-Harvest Physiology and Crop Preservation. Plenum Publishing Corporation. p. 455-469
- Kitinoja, L. y Kader, A. A. 1996. Manual de prácticas de manejo postcosecha de los productos hortofrutícolas a pequeña escala. Departamento de pomología. Universidad de California. California. 193p
- Lira S., R. 1994. Fisiología vegetal. Editorial trillas, México, D.F. pp. 105 –139, 179-192.
- Liu, F. W. 1992. Preenfriado de productos hortícolas y Sistemas de almacenamiento para productos hortícolas. pp. 89-117. *In*: E. M. Yahia e I. Higuera (ed.). Fisiología y tecnología postcosecha de productos hortícolas. Editorial Limusa, México, D.F.
- Livera M., M. y Lagunes T., A. 1999. La zarzamora y la frambuesa: Cultivos de agronegocios rentables generadores de empleo. pp. 1-4. *In*: A. Muratalla, M. Livera, A. Apango, S. Madrigal y F. Rodríguez (ed.). Curso de capacitación para productores de zarzamora y frambuesa de la delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- López C., A.. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Del campo al mercado. Boletín de servicios agrícolas 151 de la FAO. Argentina. 152p.
- Melgarejo, M. P. 1996. El frío invernal, factor limitante para el cultivo frutal: Modelos y métodos para determinar la acumulación de frío y de calor en frutales. A. Madrid Vicente, Editores, Madrid, España. pp. 18-64

-
- Mitcham, E. J., Crisosto, C. H. y Kader, A. A. 1996. Bayas (Berries): Zarcamora (Mora), Arándano Azul, Arándano Rojo y Frambuesa. Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. Departamento de Pomología. Davis, California 3 p.
- Moore, J.N. and Skirvin, R.M. 1990. Blackberry Management. pp. 214-244. *In*: G.J. Galleta and D.G. Himelrick. Small Fruit Crop Management, Prentice Hall, Inc, New Jersey. USA.
- Moore, J.N., Elvin B., and W. A. Sistrunk. 1977. Cheyenne Blackberry. *HortScience* 12(1): 77-78
- Muñoz R., M. y Juárez D., M. 1997. El comercio de frutillas menores, el caso de la frambuesa y la zarcamora. Chapingo, México. 89p
- Muratalla L., A., M. Livera y M. A. Galindo. 1999. Establecimiento y manejo del cultivo de zarcamora (*Rubus* spp). pp. 19-35. *In*: A.C. Rico, A. Muratalla, M. Livera y V. A. González (ed.). Primer curso de capacitación para productores de zarcamora en el Estado de Guerrero. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Muratalla L., A.; F. Barrientos, P.; J. Rodríguez A.; J. López M.; S. Segura L.; R Cárdenas N. y R. Nateras U. 1993. Manejo de variedades de zarcamora, tipo erecto. pp. 19-38. *In*: Primera Reunión Nacional sobre Frutos Exóticos con Demanda Nacional e Internacional. Uruapan. Michoacán.
- Pantástico, E.B. 1975. Post-harvest physiology, handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables. The avi Publishing company, Inc. USA pp. 1-314
- Piña D., G. 2000. Atmósferas controladas para combatir el daño postcosecha de *Botrytis cinerea* Pers. en zarcamora. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Púlido A., R. y García P., Y. 2005. Enciclopedia de los Municipios de México, Monografía de Texcoco Siglo XX y puntos históricos del Estado de México. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Estado de México. 22 p.
- Ruiz C., C. 2001. Panorama Socioeconómico y demográfico de Texcoco, UACH.
- Ryugo, K. 1993. Fruticultura ciencia y arte. AGT Editor, México, D.F. pp 11-389.

-
- Sánchez S., O. 1980. La flora del valle de México. 6a. ed. Editorial Herrero, México, D.F. pp 191-197
- Saucedo V., C. 1999. Transformación de la frambuesa y zarzamora y su producción industrial en pequeña y mediana escala. pp. 83-90. *In*: A. Muratalla, M. Livera, A. Apango, S. Madrigal y F. Rodríguez (ed.). Curso de capacitación para productores de zarzamora y frambuesa de la delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2006. Registra México aumento en producción de Zarzamora y frambuesa. Informe especial para líderes de opinión 4: año III.
- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2004. Estadísticas de superficie, producción y rendimiento de zarzamora a nivel nacional. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Torres R., E. 1995. Agro-meteorología. Editorial Trillas, México, D.F. pp. 68-113.
- Valdin H., E., Vásquez L., A. y Corrales G., J. 1998. Determinación de las condiciones óptimas de manejo postcosecha en frutos de zarzamora (*Rubus* spp.). Tesis licenciatura. Chapingo, México.
- Velásquez M., M. 2004. Programa Mercadológico para la comercialización de la zarzamora (*Rubus ulmifolius*) producido en San Juan Tezontla, Texcoco, México. Tesis licenciatura. Chapingo, México.
- Villalpando I., J. y J. R. Corral. 1993. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Editorial Limusa, México, D.F. pp. 27-93.
- Westwood, M. N. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Editorial Mundi Prensa, Madrid, España. pp. 217-240, 251-311.
- Wills, R., B. McGlasson, D. Graham, y D. Joyce. 1998. Introducción a la fisiología y manipulación postcosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. Traducción al español de J. Burgos. 2a. ed. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 229 p.
- Zamorano U., J. y Ríos H., S. 2004. Importancia y perspectiva de los productos no tradicionales en México. Claridades agropecuarias 132:3-19