



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

RESPUESTA AL DAÑO POR FRÍO DEL  
LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka)  
CON Y SIN RECUBRIMIENTOS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
QUÍMICA DE ALIMENTOS  
P R E S E N T A  
JANET ANGÉLICA LIZÁRRAGA NAVARRETE



MÉXICO, D.F. EXAMENES PROFESIONALES 2001  
FACULTAD DE QUÍMICA

293997



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**JURADO ASIGNADO:**

PRESIDENTE	Prof. Federico Galdeano Bienzobas
VOCAL	Prof. Luis Orlando Abrajan Villaseñor
SECRETARIO	Prof. Elsa Bosquez Molina
1er. SUPLENTE	Prof. Ruth Villaseñor Gutiérrez
2do. SUPLENTE	Prof. Claudia Lucía Mancilla Ascencio

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

Laboratorio de Fisiología y Tecnología Postcosecha de Frutas y Hortalizas  
Departamento de Biotecnología de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud  
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa



M. en C. Elsa Bosquez Molina  
Asesor



M. en B. Julieta Domínguez Soberanes  
Supervisor Técnico



Janet Angélica Lizárraga Navarrete  
Sustentante

A Carito ✖

A mi madre

A mi padre

A mis adorables hermanos

A mis compañeros y amigos

A quien ha caminado a mi lado  
Y después fue en busca de su propio sol,  
Dejando en mi mente un recuerdo ausente  
De eclipses vespertinos y alas fortalecidas.

Al milagro de existir,  
Y descubrir que la vida se nos da  
Para sembrarla de sueños,  
Para regarla de sonrisas cotidianas,  
Para fundirte con lo que amas ✧

**Quiero expresar un profundo agradecimiento a:**

**Mi familia**

**Mis maestros**

**Mis asesoras**

**Mi Universidad**

**Y a todos los que contribuyeron en  
la realización de este trabajo que siempre  
guardará una parte de su existir.**

# ÍNDICE

Índice de figuras	iii
Índice de tablas	iv
Resumen	v
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
2.1 Económicos	3
2.1.1 Historia	3
2.1.2 Etapas de la producción de la variedad persa	4
2.1.3 Tipos de limones cultivados en México y usos principales	4
2.1.4 Importancia económica	6
2.1.5 Exportaciones	12
2.2 Científico - Técnicos	16
2.2.1 Anatomía y fisiología de los cítricos	16
2.2.2 Conservación en fresco de productos vegetales	24
2.2.3 Daño por frío (DPF)	31
3. Objetivos	37
4. Hipótesis	38
5. Metodología	39
5.1 Determinación de los parámetros fisiológicos y de calidad del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka)	39
5.1.1 Material Biológico	39
5.1.2 Tratamientos	39
5.1.3 Análisis inicial	40
5.1.4 Análisis durante el almacenamiento	40
5.1.5 Diagrama de trabajo	48
5.2 Determinación de los parámetros fisiológicos y de calidad del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) con recubrimientos	49
5.2.1 Material Biológico	49
5.2.2 Tratamientos	49
5.2.3 Análisis inicial	50

5.1.4	Análisis durante el almacenamiento	50
5.2.5	Diagrama de trabajo	52
5.3	Análisis estadístico	53
6.	Resultados y discusión	54
6.1	Efecto de las temperaturas de almacenamiento en la respuesta al daño por frío del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka)	54
6.2	Respuesta al daño por frío del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) con recubrimientos	65
7.	Conclusiones	75
7.1	Recomendaciones	76
	Anexos	77
	Bibliografía	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Municipios productores de limón persa en el estado de Veracruz	11
Figura 2. Comercialización del limón persa	13
Figura 3. Localización de los constituyentes más importantes del limón	18
Figura 4. Fruta cítrica	19
Figura 5. Maduración de productos hortofrutícolas en relación a los estados de desarrollo de la planta	22
Figura 6. Curvas típicas de respiración posterior a la cosecha de las frutas	23
Figura 7. Vida útil, a varias temperaturas, de productos insensibles y con sensibilidad ligera o alta al daño por frío	32
Figura 8. Severidad del daño por frío	41
Figura 9. Carta de color del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka)	44
Figura 10. Espacio de color L, a y b del Hunter Lab	46
Figura 11. Sistema de coordenadas tridimensionales del color	46
Figura 12. Evaluación del % de pérdida fisiológica de peso en limón persa almacenado a diferentes temperaturas	57
Figura 13. Cambio de color del limón persa a diferentes temperaturas de Almacenamiento	58
Figura 14. Evaluación del color del limón persa a diferentes temperaturas de almacenamiento	59
Figura 15. Representación del matiz y pureza del color de limones persa almacenados a 4, 8, 13 y 25°C a los 30 días de almacenamiento	60
Figura 16. Evaluación del % de pérdida fisiológica de peso en limón persa almacenado a 8°C y 92 %HR con y sin recubrimientos	67
Figura 17. Evaluación del % de pérdida fisiológica de peso en limón persa almacenado a 13°C y 94 %HR con y sin recubrimientos	67
Figura 18. Cambio de color del limón persa almacenado a 8°C y 92%HR sin recubrimientos, con la cera de la región y con la formulación CMAM	68
Figura 19. Cambio de color del limón persa almacenado a 13°C y 94%HR sin recubrimientos, con la cera de la región y con la formulación CMAM	68



Figura 17. Evaluación del color del limón persa almacenado a 8°C y 92%HR con y sin recubrimientos	70
Figura 18. Evaluación del color del limón persa almacenado a 13°C y 94%HR con y sin recubrimientos	70

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. México, importancia del limón persa. Superficie, producción y consumo per capita de las principales frutas, 1993	7
Tabla 2. Agroindustrias dedicadas al empaque y transformación de cítricos	7
Tabla 3. Principales países productores de limones y limas del mundo	8
Tabla 4. Principales cultivos en el estado de Veracruz	9
Tabla 5. México. Productividad del limón persa en Veracruz 1986-1993	10
Tabla 6. Principales proveedores de limón persa a los Estados Unidos	14
Tabla 7. Estados Unidos importaciones provenientes de México	15
Tabla 8. Azúcares totales y acidez del limón	20
Tabla 9. Composición proximal del jugo de limón (g/100g)	21
Tabla 10. Escala de evaluación del daño por frío	41
Tabla 11. Escala de color del limón persa	43
Tabla 12. Severidad y frecuencia del daño por frío en limón persa almacenado a 4°C y 8°C	55
Tabla 13. Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el % de jugo en limón persa	61
Tabla 14. Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el % de ácido cítrico, pH y °Brix en limón persa	63
Tabla 15. Efecto de recubrimientos en limón persa almacenado a 8 y 13°C en el % de jugo	71
Tabla 16. Efecto de recubrimientos en limón persa almacenado a 8 y 13°C en los °Brix	73
Tabla 17. Efecto de recubrimientos en limón persa almacenado a 8 y 13°C en el % de ácido cítrico	73

## RESUMEN

México está considerado como el principal país productor de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka), para consumo en fresco, sobre todo con fines de exportación. Este mercado es reciente y se debe estar preparado para competir reduciendo costos, elevando rendimientos y mejorando la calidad. El limón persa es susceptible al daño por frío (DPF), desorden fisiológico que se presenta a temperaturas de almacenamiento menores a 15°C y mayores al punto de congelación, causando pérdidas postcosecha considerables, por lo que en este trabajo se evaluó, en una primera etapa, cómo se manifiesta el DPF en el fruto almacenado a 4, 8, 13 y a 25°C este último como grupo control. Los parámetros que se evaluaron fueron: % de jugo, % de ácido cítrico, pH, °Brix, color, % de pérdida fisiológica de peso (PFP) y DPF. Sólo en los últimos tres parámetros se encontraron diferencias significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ) entre todas las temperaturas de almacenamiento. A 8°C se conservaron mejor el color, PFP y el DPF fue nulo, por lo cual se planteó el segundo experimento utilizando esta temperatura y 13°C como control y aplicando dos recubrimientos: el utilizado en la región de Martínez de la Torre y una fórmula desarrollada a base de goma de mezquite en la UAM Iztapalapa, para determinar si existía un efecto sinérgico en la disminución del DPF y conservación del limón persa.

El almacenamiento a 8°C es recomendable como temperatura crítica de almacenamiento para limón persa debido a que a esta temperatura durante 30 días se conservan sus características de calidad fisicoquímicas y de color para su consumo en fresco. El uso de las ceras conserva los parámetros de calidad.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cítricos tienen un papel relevante en la dieta de los consumidores, destacando entre éstos la naranja, seguida de la mandarina, el limón, las limas, la toronja, entre otras. Uno de los cítricos de especial importancia es el limón, producto que ha registrado un fuerte incremento en la producción mundial, lo que refleja la importancia que ha adquirido en las preferencias de los consumidores (ASERCA<sup>2</sup>, 1996).

El limón se ubica dentro del grupo de las principales frutas producidas en México, ocupando el primer lugar mundial en lo que se refiere a superficie cosechada, primer lugar en importancia de volúmenes de producción (FAOSTAT, 2000). sexto sitio en cuanto al valor de su producción y quinto por lo a que volúmenes exportados se refiere (ASERCA<sup>1</sup>, 1996).

Dentro del contexto mundial México está considerado como el principal país productor de limón en las variedades persa y mexicano. En México la superficie sembrada es de 122,785 hectáreas, la superficie cosechada 105,828 hectáreas con una producción de 1,308,320 toneladas (CEA, 2000).

El principal estado productor de limón persa es Veracruz con una superficie sembrada de 16,143 hectáreas, una superficie cosechada de 15,230 con una producción de 155.735 toneladas (SEDAPVER, 1999/2000). La zona productora más sobresaliente es Martínez de la Torre en Veracruz que aporta el 78% de la producción del estado, el cual ocupa el primer lugar a nivel nacional (Gómez<sup>1</sup>, 1994).

El limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) participa con cerca de la tercera parte de la producción total de limón en México, se utiliza fundamentalmente para consumo en fresco sobre todo con fines de exportación, lo que permite la generación de divisas para el país y complementa al limón mexicano con su participación en el mercado.

Actualmente el mercado estadounidense es el principal comprador con 56,155 820 toneladas (BANCOMEXT, 1998). Este cítrico en los últimos años ha tenido un importante

auge por los problemas que padece la producción en Florida, principal estado productor en EUA, lo que ha permitido elevar la superficie cosechada y la producción. El mercado norteamericano de limón persa es todavía reciente, y a partir de que Florida regularice sus niveles de producción, se entrará en un proceso de reacomodo, ante el cual México requiere estar preparado reduciendo costos, elevando rendimientos y mejorando la calidad (ASERCA<sup>1</sup>, 1996).

El daño por frío (DPF) es una alteración fisiológica postcosecha que ocurre en frutos de origen tropical y subtropical cuando son expuestos a temperaturas entre 5 y 15°C (Walker, 1990; McCollum y McDonald, 1991) debido a que son sensibles a estas temperaturas, causando pérdidas en la producción en fresco.

Uno de los principales fines de la investigación del DPF en productos hortofrutícolas es encontrar métodos eficaces para reducir el DPF inducido por la refrigeración. Los productos frescos sensibles al enfriamiento no pueden recibir todas las ventajas del almacenamiento en frío, pero se deteriorarían rápidamente si no fueran refrigeradas. Si la tolerancia al enfriamiento de estos tejidos sensibles puede aumentarse, o si el desarrollo de los síntomas del DPF pueden atenuarse, entonces podría ser factible almacenar estos productos a bajas temperaturas para reducir su deterioro (Wang, 1993).

El DPF causa pérdidas postcosecha en el limón persa almacenado en fresco debido a que éste es un fruto subtropical sensible a las bajas temperaturas. Una solución a este problema sería determinar a qué temperatura de almacenamiento no se inducen los síntomas del DPF y evaluar si el uso de un recubrimiento tendría un efecto protector que aumente la vida útil del producto en fresco durante su almacenamiento, transporte y comercialización. Esto reduciría las pérdidas postcosecha además de conservar la calidad del producto y dar una mejor presentación al consumidor, permitiéndole una mayor comercialización nacional e internacional.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 ECONÓMICOS

#### 2.1.1 HISTORIA

El limón es un cítrico originario de Asia, de donde posteriormente fue introducido por los árabes al norte de África y al continente Europeo, principalmente a España y a América a partir de la colonización española, en las zonas de clima mediterráneo. En la actualidad ocupa un papel importante en la cultura alimenticia nacional y tiene gran importancia a nivel internacional (BNPC, 1990; ASERCA<sup>1</sup>, 1996).

El limón persa (*Citrus Latifolia* Tanaka) o sin semilla también recibe los nombres de lima de Persia, lima de Tahití o lima Bearss; su participación en el agro nacional ha sido bastante reciente (1970). Su cultivo fue promovido por la compañía Coca Cola, en la región de Martínez de la Torre, Veracruz. El limón obtenido no tenía las características deseadas por la compañía (mucho jugo y poco aceite) y ésta perdió el interés en su cultivo en la región (Gómez<sup>1</sup>, 1994; ASERCA<sup>1</sup>, 1996). Sin embargo, los ganaderos se encontraron ante el problema de qué hacer con las plantaciones. Así, poco a poco se fue introduciendo en el mercado de EUA, por la ruta del valle de Texas (área de McAllen, Hidalgo y Edinburg) y de ahí se distribuye a todo el país, bajo el esquema de comercialización que seguía la producción obtenida en el sureste de Florida (Gómez<sup>1</sup>, 1994).

Su importancia económica se remonta a 1982, cuando se detectó en el estado de Colima y en un municipio de Michoacán el problema de la "bacteriosis de los cítricos" en el limón mexicano, razón por la cual EUA determinó establecer medidas cuarentenarias para este producto. Ante dichas medidas se abrió una mayor perspectiva en la proliferación del cultivo de limón persa con fines de exportación, de hecho a la fecha el mercado de limón de procedencia mexicana en EUA está dominada por el limón persa (Espinosa, 1992).

## 2.1.2 ETAPAS DE LA PRODUCCIÓN DE LA VARIEDAD PERSA

La evolución en la producción de limón persa en nuestro país muestra tres períodos definidos en el período de 1980 - 1992:

- 1) Antes de 1982: es el período que se caracteriza por ser previo a la exportación, que inició a raíz de las restricciones que EUA impuso al limón mexicano en fresco en 1982 y durante este período la producción no alcanza a rebasar las 40,000 toneladas.
- 2) De 1983-1989: período donde se da un incremento continuo de exportaciones a EUA, antes de la gran helada en diciembre de 1989, que afectó severamente las plantaciones de cítricos en Florida, Texas y norte de México. En este período la producción alcanzó un promedio anual de 60,000 toneladas, es decir 50% mayor que el período anterior.
- 3) 1990 a la fecha: etapa conocida como el "boom del limón", con un incremento acelerado de las exportaciones a los EUA, debido además a los efectos de la helada ya mencionada, a que en agosto de 1992 el huracán Andrew devastó grandes plantaciones de Florida, lo que obliga a EUA a aumentar las importaciones del fruto de México con lo que se aceleró la producción nacional de limón persa rebasando las 90,000 toneladas (Gómez<sup>1</sup>, 1994; ASERCA<sup>1</sup>, 1996).

## 2.1.3 TIPOS DE LIMONES CULTIVADOS EN MÉXICO Y USOS PRINCIPALES

En México se producen los tres tipos de limones más importantes a nivel mundial. Destaca en primer lugar el limón mexicano (*Citrus aurantifolia*), con una producción anual cercana a 800 000 toneladas (Gómez<sup>1</sup>, 1994); en segundo lugar el limón persa, (*Citrus latifolia* Tanaka), cuya importancia radica en que se destina a la exportación en fresco, con una producción nacional de 172 409 toneladas (SAGAR, 1996).

En tercer lugar se ubica el limón verdadero también denominado amarillo o italiano (*Citrus limon*), que se planta en pequeñas extensiones y que por ello no es importante para el país; su volumen de producción oscila en 5 000 toneladas, según estimaciones del USDA (Gómez<sup>1</sup>, 1994).

En México el cultivo comercial de limón se centra básicamente en dos variedades: el limón persa en un 30% y el mexicano con un 70% del total nacional.

La importancia de las dos variedades de limón estriba en la complementariedad con que participan en el mercado. El limón mexicano se consume en fresco, es el principal abastecedor del consumo nacional y se emplea para la obtención de jugos concentrados, aceites esenciales y pectinas; en cambio, el limón persa se utiliza fundamentalmente en fresco con fines de exportación. El mercado nacional de limón fresco está regido por el limón mexicano, por su parte el limón persa se prefiere en las regiones del trópico húmedo de nuestro país (Gómez<sup>1</sup>, 1994).

Aunque el uso y consumo del limón varía a nivel internacional, según las costumbres y tradiciones de cada país, destaca el aprovechamiento del limón fresco o industrializado como condimento para sopas, carnes, mariscos, ensaladas, y botanas. También, ampliamente difundida es la preparación de limonadas frías y, en los países europeos, en invierno, las limonadas calientes o el té negro con limón. En general, un gran número de bebidas alcohólicas y cócteles estarían incompletos sin el limón. De gran popularidad son también las mayonesas con jugo de limón. El aceite de limón sirve a la industria alimenticia para la producción de refrescos con o sin gas, para polvos sabor limón que se emplean para gelatinas, refrescos, dulces, etc. Más reciente es el uso del limón en la industria cosmética, en shampoos y detergentes aprovechando su característica de disolver grasa (Gómez<sup>1</sup>, 1994).

## DIFERENCIAS BOTÁNICAS ENTRE EL LIMÓN PERSA Y MEXICANO

El limón persa se distingue del limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) por su mayor tamaño y falta de semillas; además tiene una composición química diferente que lo hace menos ácido y con un contenido de vitamina C ligeramente mayor que el limón mexicano. También existe diferencia entre la fisonomía de los árboles. El árbol del limón persa es, en general, más grande, igual sus hojas son más grandes y oscuras y las ramas tienen menos espinas (Gómez<sup>1</sup>, 1994).

### 2.1.4 IMPORTANCIA ECONÓMICA

El limón ocupa dentro de los cítricos el segundo lugar en importancia, tanto por su consumo en fresco como por su uso industrial. Dentro del contexto mundial, México está considerado como el principal país productor en las variedades persa y mexicano (ASERCA<sup>1</sup>, 1996).

Después de la naranja y el limón mexicano, el limón persa es el cítrico con mayor superficie y producción en México, encontrándose dentro de los 15 principales frutales del país (Tabla 1).

En el estado de Veracruz, se cuenta con una infraestructura agroindustrial de más de 69 empacadoras, mismas que exportan cerca de 200,000 toneladas anuales de limón persa a los mercados de los Estados Unidos, Europa y Japón. La actividad del limón persa en Veracruz, genera 1,200,000 jornales por año y alrededor de 2,000 empleos directos. En términos económicos de ésta actividad citrícola dependen más de 10,000 familias, y existe una derrama de recursos en toda la cadena de producción y comercialización del orden de los \$70,000,000 dólares (SEDAPVER, 1999/2000).

Al cultivo de limón persa se aplican en promedio 98 jornales por hectárea, es decir un total aproximado de 1 millón 800 mil día-hombres para todo el país. A ello habría que agregar la fuerza de trabajo que requiere su acopio, es decir la red de transportistas, coyotes,



**TABLA 1.** México, importancia del limón persa. Superficie, producción y consumo per capita de las principales frutas, 1993

FRUTO	SUPERFICIE		PRODUCCIÓN		CONSUMO
	1000 Ha	%	1000 T	%	Kg/hab.
Naranja	258	26.7	2,852	25.7	26.50
Mango	126	13.0	1,158	10.4	12.13
Aguacate	93	9.6	754	6.8	8.92
Limón Mexicano	90	9.3	845	7.6	8.70
Plátano	79	8.2	2,344	21.1	23.14
Manzana	69	7.1	643	5.8	8.27
Uva	44	4.5	526	4.7	6.46
Melón	58	6.0	787	7.1	4.32
Sandía	37	3.8	446	4.0	4.29
Durazno	39	4.0	133	1.2	1.75
Nuez	37	3.8	42	0.4	1.80
Mandarina	9	0.9	89	0.8	1.11
Piña	7	0.7	281	2.5	3.18
Fresa	5	0.5	62	0.6	0.86
Limón persa	15	1.5	130	1.2	0.26
Total	966	99.6	11,092	99.9	111.87

Cálculo hecho por Gómez Cruz M. A. con base en, SALINAS DE GORTARI, C., V. Informe de Gobierno 1993. Anexo, pp. 376-377. CNA, Estadísticas básicas del Sector Agropecuario 1992, p. 92.

Fuente: Gómez<sup>1</sup>, 1994.

**TABLA 2.** Agroindustrias dedicadas al empaque y transformación de cítricos

Empacadoras de cítricos	Total
Limón	69
Naranja	12
Otros	15
Total de agroindustrias al empaque de cítricos	96

Fuente: SEDAPVER, 1999/2000.

comerciantes y finalmente el empleo directo que aporta la actividad de acondicionamiento, a través de las más de 69 empacadoras que existen en el país y que requieren en promedio de 25 trabajadores por día en las épocas en que laboran; incluso el 30% de las empacadoras trabajan todo el año (Gómez<sup>1</sup>, 1994).

## PAÍSES Y ZONAS PRODUCTORAS

Son sólo cuatro los países que predominan en la producción mundial: México, Argentina, India e Irán cada uno aporta aproximadamente el 10% del total en el promedio de los años 1999 y 2000. Y son solamente siete países: México, Argentina, India, Irán, España, Estados Unidos e Italia los que concentran el 60% del total de la producción mundial (FAOSTAT, 2000). Dentro de las exportaciones mundiales, nuestro país ocupa el tercer lugar, detrás de EUA e Italia (ASERCA<sup>1</sup>, 1996).

**TABLA 3.** Principales países productores de limones y limas del mundo

País	Producción (Mt)	Superficie cultivada (Ha)	Rendimiento (Hg/Ha)
México	1,296,978	121,051	107,143
Argentina	1,050,000	38,000	276,316
India	1,000,000	86,000	116,279
Irán	1,000,000	53,000	188,679
España	880,000	44,000	200,000
EUA	697,600	26,060	267,690
Italia	707,551	34,613	204,418
Brasil	480,000	44,000	109,091
Turquía	360,000	16,900	213,018
Perú	310,000	29,000	106,897
MUNDO	9,972,298	717,484	138,990

Ha = hectáreas

Mt = tonelada métrica

Hg = hectogramos = 100 gramos

Fuente: FAOSTAT, 2000.

En México el limón persa se cultiva en las entidades de la Costa del Golfo de México, abarca los estados de Veracruz (principal productor) y Yucatán con el 94.6% de la producción nacional. También se cultiva, aunque en menores cantidades, en los estados de Hidalgo, Nayarit, Quintana Roo, San Luis Potosí y Sonora (SAGAR, 1996).

El estado de Veracruz aporta el 94.2% de la producción total. Dicha fruta ocupa el octavo lugar, por la superficie plantada, sexto por la superficie cosechada y octavo por la producción obtenida, entre las principales frutas y cultivos perennes del estado, siendo superado por caña, naranja, café, papaya, piña, mango y arroz (Tabla 4) (SEDAPVER, 1999/2000).

**TABLA 4.** Principales cultivos en el estado de Veracruz

CULTIVOS	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Producción Obtenida (T)	Rendimiento Promedio (T/Ha)
Caña de azúcar	256,972	252,722	19,168,585	75.84
Naranja	153,288	143,482	1,628,877	11.35
Café	152,993	152,993	441,000	2.88
Papaya	11,978	11,906	310,425	26.07
Piña	19,562	6,510	293,382	45.06
Mango	33,357	33,144	214,111	6.46
Arroz	38,592	37,262	163,642	4.39
Limón	16,143	15,230	155,735	9.94
Chayote	1,009	1,009	59,401	58.87
Vainilla	1,438	1,438	2,776	0.19

Año agrícola 1998

Fuente: SEDAPVER, 1999/2000.

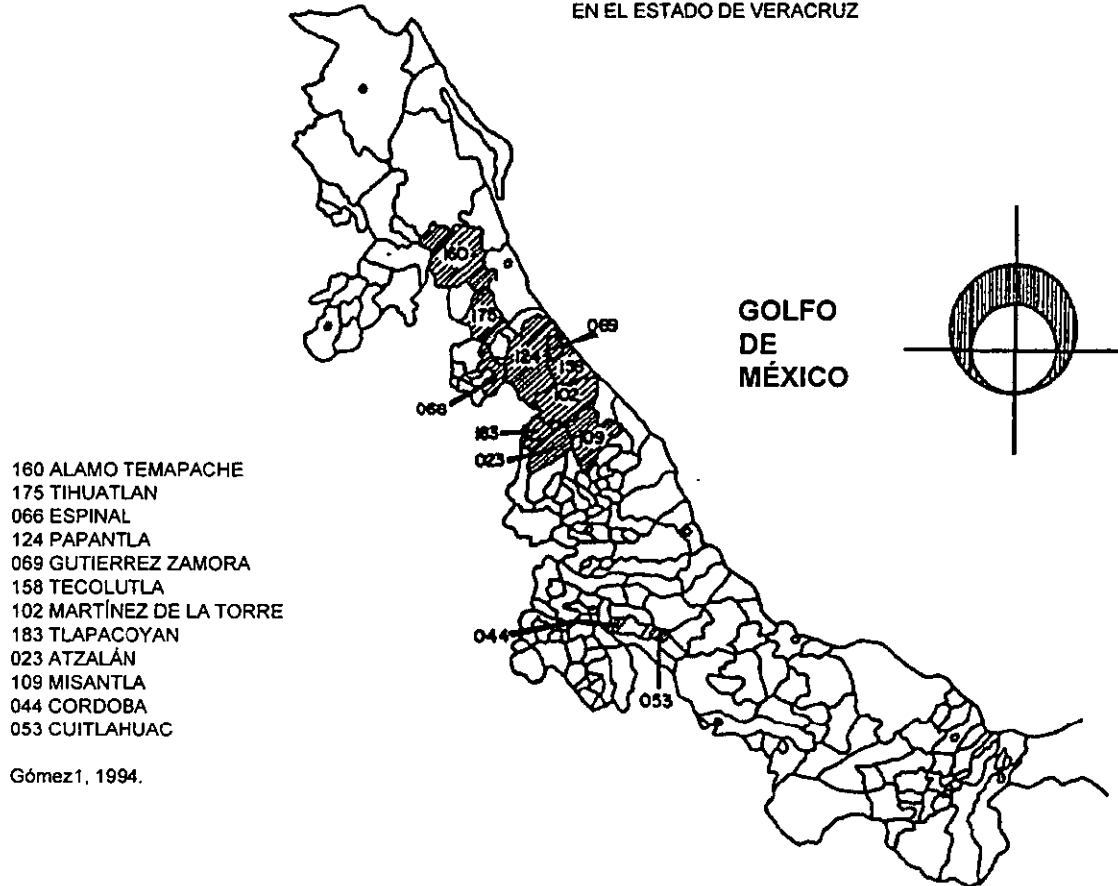
**TABLA 5. México. Productividad del limón persa en Veracruz 1986 - 1993 (T/Ha)**

Región	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Martínez de la Torre	10.0	9.9	9.9	10.5	8.3	7.8	8.0	8.5
Fortín	—	—	—	—	—	4.5	15.1	12.2
Tuxpan	12.0	12.1	12.0	1.5	3.0	4.9	6.4	4.7
Veracruz	6.0	5.1	5.1	17.1	8.0	12.3	7.5	6.1
Coatepec	4.5	4.4	7.4	5.3	4.8	4.6	5.0	3.2
La Antigua	—	—	—	20.0	20.0	20.0	—	—
Cd. Alemán	8.0	8.0	8.0	—	—	—	—	—
San Andrés	11.1	12.0	12.0	5.0	5.0	—	—	—
Jáltipan	8.0	8.6	7.0	7.0	13.0	9.7	6.4	6.0
Las Choapas	5.5	12.0	14.6	8.0	8.0	8.0	5.5	6.0
Pánuco	—	—	—	5.4	5.4	7.6	—	—

Fuente: Gómez<sup>1</sup>, 1994.

Existe una diferencia importante en la participación del estado de Veracruz con respecto a los otros estados en cuanto a la superficie plantada, pues este estado sólo aporta el 92% en este rubro. La zona productora que destaca es la de Martínez de la Torre (Tabla 5), otros municipios productores son: Misantla, Tecolutla, Papantla, Tlapacoyan, Atzalán, entre otros (Gómez<sup>1</sup>, 1994). Este cítrico en los últimos años ha tenido un importante auge, lo que ha permitido elevar la superficie cosechada y la producción. La variedad persa tiende a complementar el mercado nacional en épocas de baja producción de limón mexicano (ASERCA<sup>1</sup>, 1996).

FIGURA 1. MUNICIPIOS PRODUCTORES DE LIMÓN PERSA EN EL ESTADO DE VERACRUZ



## 2.1.5 EXPORTACIONES

Destinado principalmente al mercado de EUA, el limón persa absorbe el 98.2% (Food Markets in Review, 98/99), donde es consumido por la población hispana, que lo demanda constantemente durante todo el año; no obstante, también se envía a Japón, Francia, Inglaterra, Alemania, Bélgica, Canadá y Suiza; lo que permite la generación de divisas para el país y la obtención de ganancias para los productores, comerciantes y empacadores (Gómez<sup>1</sup>, 1994; Curti, 1996).

### CALIDAD DEL LIMÓN PERSA DE EXPORTACIÓN

Para ser comercializado y consumido en estado fresco en territorio nacional la norma oficial mexicana (NMX-FF-077-1996-SCFI) clasifica al limón persa en: Extra, Primera A y Primera B y establece las siguientes especificaciones mínimas de madurez: contenido de jugo no menor a 42% en relación a su masa (peso) total del fruto; sólidos solubles totales con un valor mínimo de 6.8% y acidez titulable no menor a 7% expresado como ácido cítrico.

En la práctica comercial, se consideran como atributos de calidad el tamaño, el porcentaje de la superficie verde, la integridad del fruto y la madurez, la cual se relaciona con el contenido de jugo (Espinosa, 1992).

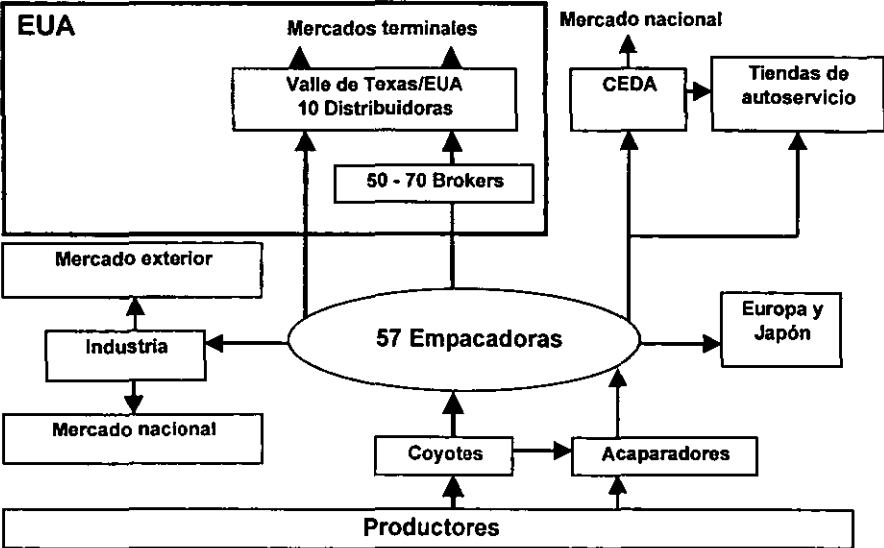
Los tamaños manejados en los mercados estadounidense y europeo se refieren al número de frutos que contienen las cajas de 38 a 40 libras. EUA acepta tamaños de 110 a 250, los países europeos de 200 a 300 y para Japón se emplean tamaños: L, M y S, los cuales corresponden a 32-36, 40-48 y 52-54 frutos por caja de 10 libras respectivamente (Curti, 1996).

El porcentaje de superficie verde demandado por Japón es de 95%, Europa el 75% y EUA del 50 a 60%. Por su parte el grado de madurez está relacionado con el contenido de jugo, de modo que sólo se exporta el producto cuyo contenido de jugo es igual o mayor de

42.7%, con lo cual se garantiza la madurez de los frutos. Los daños ocasionados por el manejo, hongos o insectos son causa de rechazo en productos de exportación, aunque en época de escasez se tolera discrecionalmente un mínimo de daños. El transporte se realiza con una temperatura de 12.8°C. Los frutos que no reúnen satisfactoriamente las características para la exportación se destinan al mercado nacional (Espinosa, 1992).

**COMERCIO EXTERIOR GLOBAL**

El limón persa pertenece a la categoría de desgravación "A" del Tratado de Libre Comercio para América del Norte (TLCAN), por lo que a partir de 1994 quedó libre de arancel. Para gozar de esta preferencia es necesario presentar el certificado de origen mexicano para dicha fruta. México ha sido el principal proveedor de limón persa a los Estados Unidos. Las importaciones de este producto han ido en aumento, así como las importaciones provenientes de México (BANCOMEXT, 1998).



CEDA=Central de Abasto del Distrito Federal.  
Gómez<sup>1</sup>, 1994.

**FIGURA 2. COMERCIALIZACIÓN DEL LIMÓN PERSA**

La comercialización del limón persa se distingue de la de otros cítricos por su orientación principal hacia el mercado exterior. Dadas las exigencias de este mercado toda la producción tiene que pasar por empacadoras, que forman el eslabón más importante de la comercialización a nivel nacional (Gómez<sup>1</sup>, 1994).

A continuación se presenta un cuadro con los principales proveedores de limón persa a los Estados Unidos con los montos y las cantidades de estas importaciones (Tabla 6) y otro con el valor, volumen y precio de las importaciones de Estados Unidos provenientes de México (Tabla 7) de durante los años 1993 - 97.

**TABLA 6. Principales proveedores de limón persa a los Estados Unidos (Miles USD)**

PAIS		1994*	1995	1996	1997
Total	\$	12,281	28,487	30,393	17,363
Mundial	Kg	69,446,0369	132,381,890	123,595,722	56,197,347
México	\$	12,251	28,480	30,393	17,361
	Kg	69,428,258	131,801,851	123,594,122	56,156,820
Ecuador	\$	0	0	0	0.003
	Kg				40,527
Chile	\$	0	0.004	0.003	0
	Kg		3,330	1,600	
Nicaragua	\$	0	0.134	0	0
	Kg		401,628		
Colombia	\$	0	0.035	0	0
	Kg		106,080		
Venezuela	\$	0	0.023	0	0
	Kg		52,671		
Turquía	\$	31	0	0	0
	Kg	17,781			

\*A partir de julio de 1994 el limón persa se clasifica en la fracción arancelaria 0805.90.00.10 por lo que estas cifras reflejan los datos de julio a diciembre de 1994.

En 1993 el limón persa se incluía en la fracción arancelaria 0805.30.4000 junto con otros tipos de limones de las variedades *Citrus aurantifolia*.

Fuente: BANCOMEXT, 1998.



**TABLA 7. Estados Unidos importaciones provenientes de México**

AÑO	VALOR (Miles USD)	VOLUMEN (Kg)	PRECIO PROMEDIO USD
1997*	17,361	56,156,820	0.31
1996	30,393	123,594,122	0.25
1995	28,480	131,801,851	0.22
1994**	12,251	69,428,258	0.18

\*Cifras a septiembre de 1997

\*\*A partir de julio de 1994 el limón persa se clasifica en la fracción arancelaria 0805.90.00.10 por lo que estas cifras reflejan los datos de julio a diciembre de 1994.

Fuente: BANCOMEXT, 1998.

El limón persa, en el conjunto de los cítricos que se cultivan en los Estados Unidos, es el de menor importancia en cuanto a su producción y a la superficie que se dedica al cultivo. Sin embargo, dependiendo del posicionamiento del mercado y del análisis de precios, como indicadores de la competitividad de fruta proveniente de nuestro país, se observa que el dominio del mercado de los Estados Unidos, por parte de productores de México es cada vez más importante, independientemente de la estacionalidad de la producción (BANCOMEXT, 1998).

Así, México cubre un alto porcentaje del mercado estadounidense de limón persa alcanzando el 56% en 1988, el 65% en 1994 y en la actualidad cubre casi la totalidad de ese mercado (BANCOMEXT, 1998).

## 2.2 CIENTÍFICO - TÉCNICOS

### 2.2.1 ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DE LOS CÍTRICOS

Una fruta cítrica es botánicamente un *hesperidium*, un particular tipo de baya con una cáscara correosa y dividido internamente en segmentos. Este tipo de frutas se divide en seis géneros: *Citrus*, *Fortunella*, *Poncirus*, *Microcitrus*, *Eremocitrus*, y *Clymenia* (Sinclair, 1984).

Las frutas cítricas se desarrollan de un ovario superior con un eje que contiene óvulos sujetos a una columna central. En un corte transversal del fruto, se pueden distinguir claramente varios tejidos como el flavedo, albedo, segmentos, semillas, eje central y sacos vasculares (Wardowski 1986).

La cáscara está constituida por el flavedo o epicarpio y el albedo o mesocarpio; es fácilmente separable de la pulpa, la cual es la porción comestible de la fruta (Sinclair, 1984; Sanlunkhe, 1995).

De acuerdo a la norma oficial mexicana (NMX-FF-077-1996-SCFI) el limón persa es definido como un fruto de forma globosa a ovalada, que presenta un leve pezón, perteneciente a la familia de las rutáceas del género *Citrus* y especie *latifolia*, de cáscara lisa gruesa y resistente, de color que va del verde oscuro brillante al amarillo, de pulpa jugosa y sabor ácido, sin semilla, dividido en gajos.

El flavedo, porción exterior coloreada de la cáscara, está compuesto propiamente por el epicarpio, hipodermis, mesocarpio exterior, glándulas de aceite, pigmentos carotenoides, clorofila y vitaminas (Sinclair, 1984; Wardowski, 1986; Sanlunkhe, 1995).

Sobre el epicarpio se encuentra una "piel protectora" o cutícula, de origen, estructura y desarrollo complejo usualmente separada de él por una capa de pectina. La cutícula consiste de una capa interna de cutina (un polímero heterogéneo de ácidos grasos), celulosa y una capa exterior constituida principalmente de cutina, con materiales

semejantes a ceras como placas, barras y otras formas embebidas dentro y sobre la superficie cuticular. Las ceras epicuticulares son un complejo de alcoholes primarios y secundarios, parafinas, aldehídos, dicetonas, etc., con la composición y compuestos continuamente renovada conforme la fruta se desarrolla.

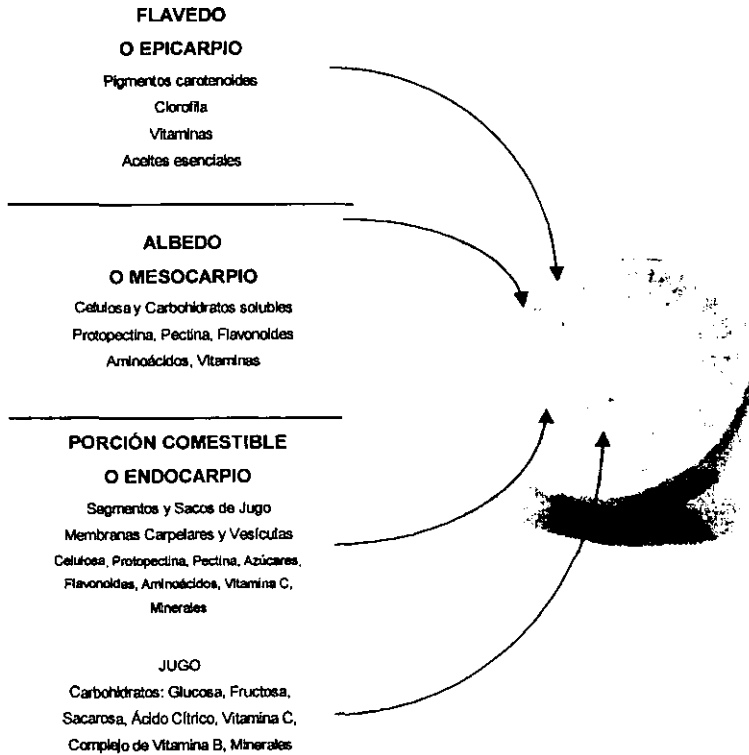
El epicarpio también contiene células con plastidios, que inicialmente contienen clorofila y gradualmente se transforman en cromoplastos cuando la fruta pierde el color verde; algunas veces regresa a cloroplastos. Los cambios son debidos al clima, mecanismos del control interno como reguladores de crecimiento del árbol (Wardowski, 1986).

Las capas de células sin color, llamada hipodermis y mesocarpio externo, está inmediatamente abajo del epicarpio y contiene las glándulas de aceite. El tamaño de estas glándulas son de 10 a 100  $\mu\text{m}$  o más. El número y distribución de los constituyentes aromáticos (volátiles) en gran parte son terpenos y sesquiterpenos. El aceite es altamente fitotóxico, causando necrosis de las células del epicarpio si las glándulas son rotas por abrasión o por un golpe, la lesión característica se denomina oleocelosis (Wardowski, 1986).

El albedo, porción interna esponjosa de la cáscara, está compuesta principalmente de celulosa, carbohidratos solubles, sustancias pécticas (protopectina y pectina), flavonoides, aminoácidos y vitaminas (Sinclair, 1984). Consiste de una red de holgadas células parenquimatosas con grandes y numerosos espacios de aire como parte de un mesocarpio interno. Las células del albedo originan unas esferas empacadas fuertemente. Conforme el fruto crece, estas células se estiran a los puntos de contacto con las células de los alrededores, resultando en una red de delgadas paredes celulares y conectando con una alta porción de espacio intercelular lleno de aire. Éste es un efectivo mecanismo amortiguador contra la presión, pero un fértil medio de cultivo si el flavedo es perforado y penetran esporas fúngicas dentro del albedo (Wardowski, 1986).

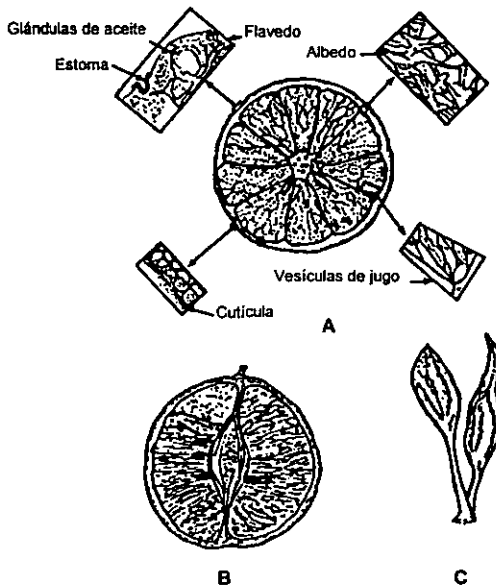
Una serie de segmentos triangulares alrededor del eje central forma la porción comestible de los frutos cítricos maduros, típicamente tienen de 8 a 15 segmentos (Sinclair, 1984). Cada segmento está rodeado por una resistente membrana continua, el endocarpio, con

**FIGURA 3. LOCALIZACIÓN DE LOS CONSTITUYENTES MÁS IMPORTANTES DEL LIMÓN**



una membrana de mesocarpio extendida radialmente entre los segmentos adyacentes fácilmente rompible. El interior de un segmento tiene dos principales componentes: las vesículas de jugo (o pulpa) y las semillas (Wardowski, 1986), estas últimas varían en número desde ninguna en pocos cultivos como el limón persa a 40-50 en la toronja (Sinclair, 1984).

La pulpa de las frutas cítricas, a diferencia de otras frutas, esta dividida en segmentos (carpelos), sus paredes no son fácilmente permeables, y cada segmento está compuesto de cientos de unidades (vesículas o sacos de jugo) (Sinclair, 1984).



**FIGURA 4. FRUTA CÍTRICA.** A - Sección transversal con vista ampliada de el flavedo y cutícula a la izquierda y el albedo y vesículas de jugo adjuntas a las paredes tangencial y radial exteriores del loculo a la derecha. B - Sección longitudinal mostrando las semillas unidas a la pared tangencial junto al eje central. C - Vesículas de jugo separadas. Wardowski, 1986.

Las vesículas de jugo son sacos multicelulares cada una encerrada en una membrana y consiste de un tallo multicelular filiforme y un extendido cuerpo multicelular fusiforme con una diminuta glándula de aceite en el centro (Wardowski, 1986).

Las vesículas están compuestas principalmente de celulosa, hemicelulosa, protopectina, pectina, azúcares, flavonoides, aminoácidos, vitamina C y sales minerales. El jugo de la porción comestible de los cítricos esta localizado en las vesículas (Sinclair, 1984).

Los constituyentes solubles del jugo están compuestos de carbohidratos solubles (glucosa, fructosa y sacarosa), ácidos orgánicos (principalmente ácido cítrico), vitamina C, vitaminas del complejo B, sales minerales, una pequeña concentración de sustancias pécticas y muchos otros nutrimentos (Sinclair, 1984).

## COMPOSICIÓN QUÍMICA

Se han aislado más de 400 diferentes constituyentes de frutas de varias especies cítricas. Los componentes principales del limón son carbohidratos, los cuales incluyen sacarosa, glucosa, fructosa, más trazas de otros azúcares (Wardowski, 1986). En naranjas, tangerinas y toronjas los sólidos solubles están constituidos principalmente de azúcares, pero en el jugo de limón están principalmente representados por el ácido cítrico (5-7%) (Hui, 1992; Sanlunkhe,1995). La acidez es debida primordialmente al ácido cítrico y málico, también se han reportado la presencia de ácido tartárico, ascórbico, benzoico, oxálico y succínico (Sanlunkhe, 1995).

**TABLA 8. Azúcares totales y Acidez del Limón**

Limón	Azúcares totales (%)	Acidez <sup>1</sup> (ml 0.1M/100 g)
Porción comestible	2.19	5.98
Cáscara y	4.14	0.49
Jugo	1.92	7.20

<sup>1</sup>Como ácido cítrico

Fuente: Sanlunkhe, 1995.

El contenido de nitrógeno de los frutos cítricos varía entre 0.1 y 0.2% en base seca. Los constituyentes nitrogenados incluyen proteínas, péptidos simples, aminoácidos, fosfatidos y sustancias relacionadas. Las proteínas son relativamente insolubles y se encuentran asociadas con las porciones sólidas del fruto como son las semillas, flavedo, albedo y pulpa. Los frutos cítricos contienen carbohidratos insolubles, celulosa y pectina que proveen de material estructural. La cáscara es particularmente rica en pectina.

**TABLA 9.** Composición proximal del jugo de limón (g/100 g)

Agua	Energía kcal	Proteína N X 6.25	Lípidos totales	Carbohidratos totales	Cenizas
90.21	27	0.44	0.10	9.01	0.24

Fuente: Hui Y. H. 1992.

La principal vitamina en los cítricos es el ácido ascórbico o vitamina C. Conforme la fruta varía el contenido de vitamina C decrece. Adicional a esta vitamina el jugo de los cítricos contiene complejo de vitamina B y provitamina A (carotenoides). Otras vitaminas que han sido reportadas son biotina, ácido fólico, piridoxina, inositol, riboflavina, tiamina y niacina. En común con otros frutos, los cítricos tienen un alto contenido de potasio (100-350 mg/100g porción comestible) y bajo contenido de sodio (1-100 mg/100 g) (Sanlunkhe, 1995).

#### MADUREZ FISIOLÓGICA

Las fechas y duración de los períodos de cosecha de los cítricos están relacionados con el comienzo de rápidos cambios fisiológicos, principalmente aumenta el azúcar. Estos cambios son expresados notoriamente en la proporción de sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable (AT).

Un problema adicional es que varios factores de la calidad de la fruta (SST, AT, SST:AT y contenido de jugo) varían con la posición de la fruta en el árbol (Wardowsky, 1986).

## ACTIVIDAD RESPIRATORIA

La respiración de los órganos vegetales cosechados ocurre a través de una serie de reacciones químicas complejas. Los almidones y azúcares almacenados se convierten en bióxido de carbono y agua, por un proceso de oxidación que utiliza energía de las reservas alimenticias almacenadas y oxígeno del aire circundante (Wills, 1994; Thompson, 1999). Si la absorción de oxígeno se restringe, la respiración normal no puede proceder, dando lugar a la fermentación (respiración anaeróbica) (Thompson, 1999).

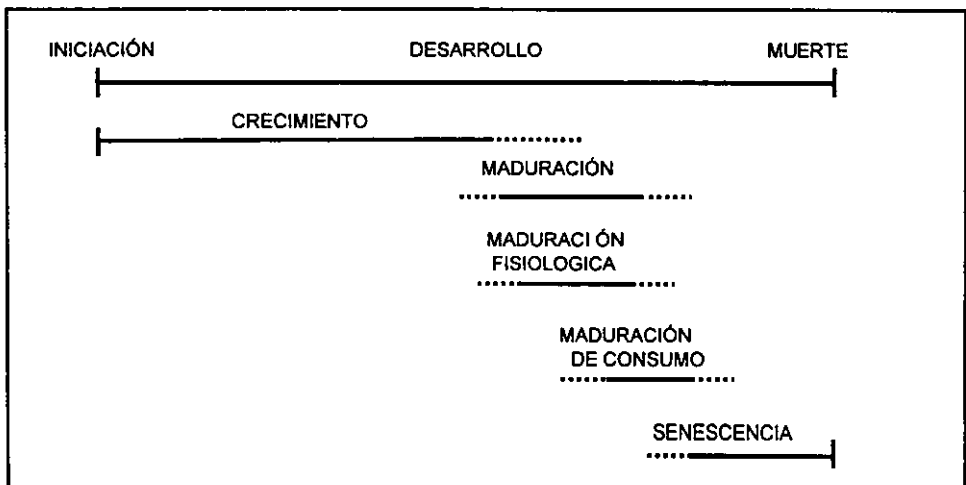


FIGURA 5. Maduración de productos hortofrutícolas en relación a los estados de desarrollo de la planta. Maduración de consumo = Ripening. Kader, 1985.

La cosecha finaliza el intercambio de materia entre la fruta y el resto del vegetal. Como sistema biológico independiente, la fruta cosechada exhibe considerable actividad química en la que los procesos respiratorios juegan un papel importante.

Bajo condiciones aeróbicas, las frutas continúan respirando (absorbiendo  $O_2$  y expeliendo  $CO_2$ ), y oxidando sus reservas de carbohidratos. La mayor parte de la energía liberada se desprende como calor (Braverman, 1993).



La actividad respiratoria es más alta en las fases previas a la maduración y declina luego con la edad. Un grupo significativo de frutas entre los que se incluye el plátano, mango y manzana, muestra una variante del esquema descrito después de la cosecha, en cuanto que la actividad respiratoria aumenta de un modo muy acusado durante la maduración sensorial (Figura 6). A este incremento de la actividad respiratoria se le denomina climatérico y al grupo de frutos que lo ofrecen se clasifican como frutos climatéricos.

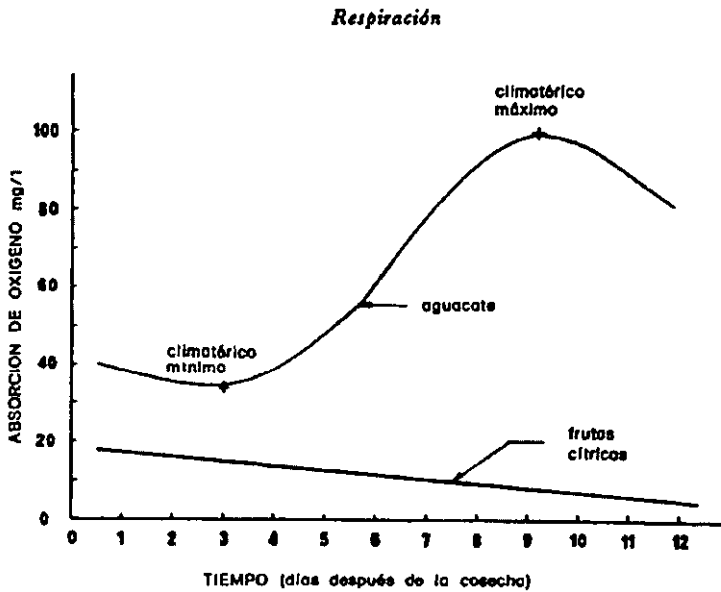


FIGURA 6. Curvas típicas de respiración posterior a la cosecha de las frutas: (a) aguacate; (b) frutas cítricas. Braverman, 1993.

Aquellas frutas que, como la piña, fresa y cítricos, no exhiben un fenómeno de esta naturaleza son clasificadas como no climatéricas (Fennema, 1993; Wills, 1994). Los frutos cítricos son no climatéricos, por lo tanto los cambios asociados con la maduración postcosecha ocurren muy lentamente (Sinclair, 1984; Wardowski, 1986; Braverman, 1993).

## 2.2.2 CONSERVACIÓN EN FRESCO DE PRODUCTOS VEGETALES

La adquisición de frutas y verduras en estado fresco, es decir, que conserven sus características sensoriales originales es muy preferida por el consumidor. Sin embargo, las deficiencias en los sistemas de distribución y venta ocasionan la pérdida por descomposición de miles de toneladas de productos vegetales al año, antes de que sean consumidas. Por lo tanto, ha sido indispensable el desarrollo de métodos que permitan aumentar la vida útil de los productos en estado fresco. El fundamento de estos métodos consiste en retardar las reacciones bioquímicas naturales que se generan en el vegetal, especialmente las relacionadas con la respiración. Los métodos más comúnmente usados son: el envasado en atmósferas controladas, modificadas o al vacío, refrigeración y recubrimientos con ceras o parafinas (Aaron, 1994).

Se han desarrollado diversas técnicas para determinar la temperatura, humedad y composición de la atmósfera óptima para mantener la calidad post-recolección de frutas, hortalizas y otros productos vegetales perecederos (Hatton, 1982).

Probablemente la refrigeración sea la técnica más antigua y la más empleada. El almacenamiento en atmósferas controladas/modificadas(CA/MA) es, respecto a la refrigeración, un avance para prolongar la vida útil de los productos agrícolas, aunque, el alimento así envasado precise siempre un almacenamiento bajo condiciones de refrigeración. Las concentraciones de bióxido de carbono y oxígeno se controlan artificialmente para conseguir las condiciones óptimas para cada caso. Ambas técnicas, refrigeración y CA/MA, resultan relativamente costosas, no sólo implican una serie de gastos de instalación, mantenimiento, almacenamiento y transporte, aparte de los costes energéticos. Una de las tecnologías que contribuye a la extensión de la vida útil de los cítricos en fresco es la aplicación de recubrimientos a base de ceras y otros compuestos químicos (Aaron, 1994).

## TECNOLOGÍAS

### PELÍCULAS PROTECTORAS EN CÍTRICOS

Diversos estudios han indicado que la mejor forma de prolongar la vida útil de los cítricos cosechados es disminuyendo su transpiración (Ben-Yehoshua, 1967). La pérdida de agua que acompaña a la transpiración no sólo provoca la reducción de tamaño del fruto, su desecación y ablandamiento, sino que también desencadena el cambio del equilibrio hormonal del fruto maduro al del senescente, permitiendo la aceleración de la alteración de la fruta. Comercialmente, la reducción de la transpiración de los cítricos se consigue mediante un encerado. Esta práctica es efectiva para restringir la cantidad de oxígeno y bióxido de carbono intercambiada con el medio externo (Aaron, 1994).

El encerado o la aplicación de películas cubrientes, es una operación especial de acondicionamiento que se aplica a nivel empacadora en algunas frutas y hortalizas con el propósito de reducir la pérdida de agua, mejorar la apariencia y prolongar su vida útil (Bosquez, 1993).

La aplicación de preparaciones cerosas a ciertos alimentos perecederos ha sido usada por varios años. Las películas cubrientes que se utilizan para la conservación de frutas y hortalizas se encuentran formuladas a base de materiales céreos, ya sea naturales como cera de candelilla, cera de carnauba, lecitina, cera de abeja, henequén y cera de caña de azúcar, o materiales inorgánicos derivados del petróleo como las parafinas, o sintéticos como el polietileno y el acetato de vinilo (Paredes, 1974; Bosquez, 1993). En la formulación de las preparaciones comerciales de películas cubrientes para productos hortofrutícolas se utilizan también otras sustancias que le confieren propiedades emulsificantes, humectantes y adherentes (Bosquez, 1993).

Los lípidos son un grupo de compuestos generalmente constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno, que integran cadenas hidrocarbonadas alifáticas o aromáticas insolubles en agua, pero solubles en disolventes orgánicos, tales como hexano y éter de

petróleo (Badui, 1995). Los componentes esenciales de los lípidos son ácidos carboxílicos alifáticos, conocidos como ácidos grasos (Braverman, 1993).

Las ceras son un tipo de lípido en el que los ácidos grasos se encuentran esterificados por monoalcoholes superiores, en vez de glicerol. Estos alcoholes contienen entre 24 y 36 átomos de carbono. Las ceras naturales son mezclas de muchos ésteres de esta clase que a menudo contienen alcoholes no esterificados, cetonas e hidrocarburos con un número impar de átomos de carbono. Estos hidrocarburos se forman, aparentemente, a partir de los ácidos grasos de cadena larga, por un proceso de descarboxilación. Las ceras sirven principalmente como coberturas protectoras y repelentes del agua en la superficie de los tejidos y organismos. Su función es la de impedir la evaporación indebida de humedad o que el agua ambiental invada al tejido (Braverman, 1993).

La aplicación de cubiertas de cera a los alimentos es un proceso probado por el tiempo. Las ventajas del encerado son: disminución de la velocidad de difusión de vapor de agua por transpiración desde el interior del fruto u hortaliza hacia el medio que lo rodea; con esto se logra reducir la pérdida fisiológica de peso (PFP) de los productos encerados y la reducción en las pérdidas por encogimiento. La película limita la difusión de oxígeno atmosférico hacia el interior del producto y del dióxido de carbono del interior al exterior, lo que trae como consecuencia una reducción de la tasa respiratoria y la reducción de otras funciones metabólicas, con lo que se retarda el proceso de maduración, con lo cual se consigue prolongar la vida útil de estos productos perecederos. La película protectora puede reducir la incidencia de enfermedades en los frutos de manera indirecta al cubrir heridas localizadas en su superficie externa (Bosquez, 1993). El encerado tiene poca acción preventiva en el retardo del crecimiento de organismos de putrefacción, excepto cuando son incorporados agentes fungicidas a las ceras. Las películas cerosas son aplicadas por inmersión, aspersion, espuma, goteo o vaciado (Bosquez, 2000). Una cubierta gruesa crea condiciones de respiración anaeróbica, a su vez, una cubierta delgada ofrece poco control sobre las pérdidas de humedad (Desrosier, 1981; Hardenburg, 1990).

La aplicación de películas protectoras de cera en frutas, permite disminuir la pérdida de humedad, impartir brillo, retardar el secado, reducir los contaminantes de tipo microbiano y retardar la respiración (Paredes, 1974; Hardenburg, 1990). En el caso de cítricos estos tratamientos ayudan a la neutralización de los ácidos que se depositan en la cáscara, lo cual posterga la aparición de manchas (Paredes, 1974).

Al menos cuatro tipos de ceras son usadas:

- 1) Ceras con solventes (Solvent waxes), ampliamente usadas en cítricos, están compuestas de 70 a 80% de hidrocarburos alifáticos, 25% de hidrocarburos aromáticos y un solvente como acetona o etil acetato. Este solvente podría contener una resina sintética o plastificantes.
- 2) Ceras con agua (Water waxes), ocupan el segundo lugar en importancia, el más ampliamente usado son soluciones con resinas y ceras (resin solution waxes) y emulsiones de ceras (emulsions waxes). Las soluciones de resinas y ceras son simplemente soluciones de uno o más resinas solubles en álcalis o materiales similares a resinas, como el shellac, gomas de proteína natural o resina de madera. Las ceras emulsionadas están compuestas de ceras naturales (como la de carnauba o parafina) o ceras sintéticas (como emulsión de polietileno) en jabón o detergentes.
- 3) Ceras en bloques o barras (bar o slab waxes), están compuestas de mezclas de ceras fundidas en barras. Estas ceras son en su mayor parte hechas de parafina, con pequeñas cantidades de otras ceras incluidas.
- 4) Ceras en pasta/aceites (paste/oil waxes), son principalmente compuestas de parafinas que son diferentes en el punto de fusión y son mezclados hasta una viscosidad deseable. Estas ceras son frecuentemente usadas en vegetales (Hardenburg, 1990).

Entre los materiales lipídicos que se han empleado para la elaboración de formulaciones destinadas al recubrimiento de frutos cítricos destaca la cera de candelilla, esta cera es de color amarillo ocre, no tóxica, dura, quebradiza, brillante, fácilmente pulverizable en trozos, insoluble en agua y soluble en disolventes orgánicos como: acetona, cloroformo y benceno. Una idea general de la composición de la cera limpia y seca es la siguiente: 29% de ésteres de sitosterol, ácido dihidroximircinoleico y otros ésteres; 45% de

hidrocarburos principalmente hentriacontano y tritriacontano y 26% de ácidos libres, alcoholes, lactonas y resinas (Ceras desérticas, 2000).

## REFRIGERACIÓN

El objetivo perseguido por el almacenamiento en refrigeración es el de restringir la velocidad de deterioro sin acarrear una maduración anómala u otros cambios perjudiciales manteniendo así el producto durante períodos tan largos como sea posible, en condiciones para el consumo (Wills, 1994).

El almacenamiento en refrigeración es recomendado para muchos productos perecederos porque retarda:

- 1) la velocidad del proceso de maduración y senescencia (ablandamiento, cambios de textura y color, etc.).
- 2) cambios metabólicos indeseables y la producción de calor debida a la respiración.
- 3) pérdida de humedad y marchitamiento.
- 4) la descomposición por invasión de bacterias, hongos y levaduras e
- 5) indeseable crecimiento, como el desarrollo de brotes en las papas.

Es muy importante que la temperatura en las cámaras de almacenamiento se mantenga constante. Variaciones de 1 o 2°C por encima o debajo de la temperatura deseada es muy grande en muchos casos para prolongar el almacenamiento. El peligro es mayor si es largo el periodo durante el cual la temperatura esta por encima de la óptima. Además fluctuaciones en la temperatura frecuentemente causa condensación de la humedad en los productos almacenados, lo cual es indeseable porque puede favorecer el crecimiento en la superficie de hongos y el desarrollo de pudriciones (Hardenburg, 1990).

El enfriamiento de los productos vegetales frena simplemente su ritmo de deterioro.

## LIMITACIONES DE LA REFRIGERACIÓN

Los productos frescos sensibles al enfriamiento no pueden recibir todas las ventajas del almacenamiento en frío pero se deteriorarían rápidamente si no fueran refrigerados. Muchos vegetales y frutas, principalmente los de origen tropical y subtropical, como los cítricos, son susceptibles al estrés a temperaturas menores a 13 y 10°C, en las cuales los tejidos se debilitan porque son incapaces continuar con los procesos metabólicos normales, por lo tanto ocurren varias alteraciones fisiológicas y bioquímicas como respuesta al estrés por el frío. Estas alteraciones conducen al desarrollo de una variedad de síntomas denominadas en conjunto daño por frío. Frecuentemente los productos que son refrigerados parecen sanos cuando son removidos de las bajas temperaturas, sin embargo los síntomas llegan a ser evidentes en pocos días a mayor temperatura (Hardenburg, 1990). Esta sensibilidad a las bajas temperaturas posee serios problemas postcosecha durante su manejo y almacenamiento puesto que la disminución del metabolismo por medio de la refrigeración es la más manejable forma de extender la vida útil de los productos perecederos (Weichmann, 1987).

## CONDICIONES DE REFRIGERACIÓN RECOMENDABLES PARA LIMÓN PERSA

Para conservar mejor la calidad, el limón persa debe cosecharse mientras aún está verde pero después de que la cáscara ha llegado a ser lisa, la fruta debe estar madura y redonda. El almacenamiento es satisfactorio a 9 -10°C por 6 a 8 semanas; sin embargo la pérdida del color verde aparece después de la tercera o cuarta semana de almacenamiento. Después de 8 semanas de almacenamiento la cáscara es frecuentemente verde amarillenta. El color verde es retenido mejor a 4°C, pero los limones son más propensos de presentar hundimientos o picado a temperaturas menores a 7.5°C (Hardenburg, 1990).

La humedad relativa durante el almacenamiento a 9 -10°C debe ser mantenida a 85 – 90%, y se recomienda que la fruta se encere para prevenir la pérdida de humedad y la

deseccación. Los limones tienen poca cutícula natural que retarde la pérdida de humedad (Hardenburg, 1990).

## PÉRDIDA DE PESO DURANTE EL ALMACENAMIENTO

La pérdida de humedad de los productos hortofrutícolas es la principal causa de deterioro durante el almacenamiento. Esta pérdida de agua del tejido vivo es conocida como transpiración y resulta no solamente en una apreciable pérdida de peso sino también en hacer menos atractivo el producto al tener una textura pobre y disminuir la calidad. Pérdidas de humedad de 3 a 6 por ciento son suficientes para causar una marcada pérdida de la calidad de muchos productos (Hardenburg, 1990).

El vapor de agua como otros gases, se mueve de una región de alta concentración a una de baja concentración. La humedad relativa de la atmósfera interna de casi todas las frutas, vegetales y flores es al menos de 90-99% y la de la atmósfera circundante usualmente es menor. Lo cual mueve el vapor de agua de los tejidos hacia la atmósfera circundante. En cuanto haya una diferencia entre el medio y la presión de vapor interna del producto, la transpiración o evaporación continuará. Esta diferencia en la presión de vapor es llamada déficit de presión de vapor (Hardenburg, 1990). En el caso particular de los productos hortofrutícolas la cantidad de vapor de agua eliminada se traduce físicamente en una pérdida de peso real y definitiva, por lo que a esta pérdida de peso neto se le denomina *pérdida fisiológica de peso* (Bosquez, 1992).

La cantidad de peso perdido depende de factores como:

- 1) Tipo de producto (hoja, tallo, brote o yema, flor, fruto fresco o seco, semilla).
- 2) Estructura (presencia o ausencia de cutícula, número de lenticelas o estomas).
- 3) Variedad.
- 4) Composición química.
- 5) Superficie expuesta al medio ambiente/volumen o peso.
- 6) Cicatrices del pedúnculo, etc.



Entre los factores externos destacan:

- 1) La temperatura del medio ambiente.
- 2) La humedad relativa que rodea al producto.
- 3) La velocidad del aire que circula en el almacén.

La pérdida de agua de los productos hortofrutícolas es importante porque repercute en su valor comercial, pues no sólo perjudica seriamente su apariencia sino que, incluso, puede provocar una disminución tal en el peso que puede rebasar el límite establecido con el riesgo de incurrir en fraudes (Bosquez, 1992).

### 2.2.3 DAÑO POR FRÍO (DPF)

El DPF es definido como el daño inducido por temperaturas suficientemente bajas pero por encima del punto de congelación que causan deterioro en frutos. Los frutos que han estado expuestos a temperaturas entre 0 y 12°C comúnmente pueden presentar DPF, el cual causa irreversibles deterioros a especies tropicales y subtropicales (Walker *et al.*, 1990; Mc Collum y McDonald, 1991). El DPF es distinto del daño por congelación, porque ocurre a temperaturas por encima del punto de congelación (Snowdon, 1990).

En general, entre los cítricos, las toronjas, limones y limas son más susceptibles al DPF que las naranjas, mientras que las mandarinas son intermedias (Kader, 1985; Snowdon, 1990). La temperatura crítica, bajo la cual existe riesgo de daño está entre 10 y 15°C para toronjas, limones y limas, y entre 1 y 5°C para naranjas y mandarinas. Sin embargo, el crecimiento de un mismo cultivar en una zona climática puede diferir en susceptibilidad a la desarrollada en otra región (Snowdon, 1990).

Los síntomas del DPF incluyen: oscurecimiento y deshidratación del tejido, hundimientos en la superficie del flavedo, alteración en el proceso de maduración, desarrollo de aromas extraños, incremento a la susceptibilidad microbiana, quemaduras, ennegrecimiento de glándulas de aceite, bronceado e incremento en la susceptibilidad de la fruta a

deteriorarse cuando se transfiere a condiciones ambientales (Snowdon, 1990; McCollum y McDonald, 1991; Thompson, 1999; SEF, 2000).

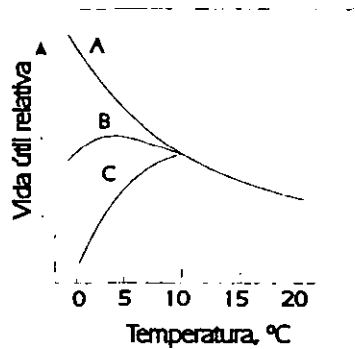


FIGURA 7 .Vida útil, a varias temperaturas, de productos insensibles (A) y con sensibilidad ligera (B) o alta al daño por frío (C). Wills, 1994.

Algunos productos muestran DPF solamente después de un almacenamiento prolongado, mientras que otros pueden ser dañados por breves exposiciones a las bajas temperaturas. La severidad del daño se incrementa conforme el tiempo de exposición aumenta y la magnitud de la temperatura cae por debajo del intervalo de la temperatura crítica. El DPF es acumulativo (Thompson, 1999).

Estos síntomas son evasivos y manifiestos. Evasivos porque pueden no ser evidentes mientras el vegetal está almacenado bajo temperaturas inductoras del daño por frío, y sólo son notorios después de transferir el fruto a temperatura ambiente. Manifiestos debido a los síntomas principales, simples o combinados, los cuales constan del decaimiento, cambios de coloración y picado de la superficie (Lloyd, 1972).

Sin embargo, si el daño es leve, pueden no existir síntomas externos. No obstante, los frutos que están en dichas condiciones presentan muy claramente daños internos.

## SÍNTOMAS DEL DAÑO POR FRÍO EN CÍTRICOS

Las fisiopatías postcosecha de cítricos están ampliamente asociadas con el DPF en almacenamiento o transporte. El síntoma más común del DPF es el picado durante el almacenamiento en refrigeración, en el cual áreas separadas de la cáscara se hunden formando áreas que tienden a unirse y que posteriormente se oscurecen adquiriendo un color marrón tostado (Wardowski, 1986; Snowdon, 1990; SEF, 2000). Esto es común en toronja y limones. La limitación entre la lesión y el tejido saludable es muy agudo. No hay explicación del porqué ciertas áreas del exocarpo pueden ser susceptibles al DPF. El picado en el almacenamiento de limones, comúnmente se conoce como *peteca*, y se ha reportado que en ocasiones se desarrolla en precosecha. Algunas veces, particularmente a muy bajas temperaturas, una quemadura superficial puede presentarse en lugar del picado. Esta quemadura es típicamente de color rojizo o color tostado y puede ocurrir en la mayoría de los tipos de cítricos susceptibles. Se ha reportado que el oscurecimiento del albedo y de las membranas del carpelo son peculiares en limones (Wardowski, 1986).

Otros síntomas del DPF en cítricos son:

- Un colapso acuoso que puede afectar a la pulpa y a la corteza de los frutos. Éstos adquieren un aspecto esponjoso y blando, pueden presentar malos olores por causa de su fermentación (SEF, 2000). La apariencia general es como si la fruta hubiera sido congelada y después descongelada. No se sabe con certeza el porqué el DPF algunas veces se manifiesta de una forma y algunas veces de otra, pero en general cada forma tiende a ser asociada con un particular rango de temperaturas.
- El ennegrecimiento de las glándulas puede afectar a toda la superficie del fruto produciendo un oscurecimiento de las glándulas oleíferas con apariencia de punteado. El espacio entre las glándulas puede colapsarse confundándose entonces con el bronceado (SEF, 2000).

- El bronceado se manifiesta como un oscurecimiento de la piel de forma irregular que puede extenderse a todo el fruto. Está asociado con las glándulas oleíferas y se produce predominantemente en naranjas.

Los síntomas de DPF pueden afectarse por factores postcosecha más que por la temperatura de almacenamiento. El picado puede reducirse o disminuir su incidencia manteniendo humedades relativas altas en el almacén (Wardowski, 1986).

### MECANISMO DE MANIFESTACIÓN DEL DAÑO POR FRÍO

Las bajas temperaturas no frenan en la misma extensión todos los aspectos del metabolismo. Algunas reacciones son sensibles al frío y se detienen por completo a temperaturas inferiores a una crítica. De los tejidos vegetales se han aislado varios sistemas enzimáticos lábiles al frío (Wills, 1994).

El descenso de la temperatura no disminuye la actividad de otros sistemas a la misma velocidad que la respiración; se produce por ello una acumulación de los productos de reacción, siendo probable que también descienda la concentración de reaccionantes. El efecto global es el establecimiento de un desequilibrio metabólico, que si es suficientemente grave como para que se traduzca en la ausencia de un sustrato esencial, o en la acumulación de productos tóxicos, conducirá a un funcionamiento anormal de las células y, por último, a la pérdida de integridad y estructura celular. Las células colapsadas se manifiestan como áreas tisulares de color pardo (Wills, 1994).

El daño por frío determina la 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 hongos bien por infecciones latentes o por contaminación durante la recolección. Por consiguiente, las pudriciones son muy frecuentes en los productos tropicales que han sido almacenados a bajas temperaturas.

Uno de los efectos primarios de la temperatura sobre las membranas celulares de los vegetales es el control ejercido sobre la fluidez de los lípidos que forman parte de las mismas. Los lípidos de las membranas, que se hallan en un estado de mayor o menor fluidez y movilidad a temperaturas más altas, pasan a un estado similar al de un gel y quedan inmovilizados a temperaturas inferiores a las críticas, lo que afecta a las propiedades de las citadas membranas y de un modo particular a las actividades de las enzimas asociadas a ellas que participan en la síntesis proteica y de ATP. Este efecto se produce a temperaturas de 10-15°C en la mayoría de los productos tropicales y se correlaciona, por tanto, con el inicio del DPF. En las especies propias de climas más templados y no sensibles al frío estos eventos ocurren, a temperaturas notablemente más bajas (0-5°C) (Wills, 1994).

#### CONTROL DEL DAÑO POR FRÍO

El daño por frío puede ser atenuado e incluso evitado si se conocen las características de la fruta que se pretende refrigerar, ya que se podrá almacenar a una temperatura por encima de la crítica. Si el almacenamiento a bajas temperaturas es requerido (por ejemplo, para cumplir con las regulaciones de cuarentena de la planta para el control de la mosca de la fruta), pueden tomarse ciertas medidas al disminuir el efecto del frío. Éstas incluyen la reducción de la pérdida de humedad por la aplicación de aceites, ceras o películas. Aparentemente la reducción de la pérdida de agua de los tejidos bajo condiciones de alta humedad, inhibe el colapso de la epidermis y de las células subyacentes (Wang, 1993); así como el acondicionamiento de la fruta, a temperaturas de enfriamiento más altas pero cercanas y por pocos días a la del almacenamiento refrigerado definitivo. Se ha reportado que algunos fungicidas como el difenil pueden aumentar la susceptibilidad al DPF, mientras que otros como el tiabendazol disminuirlo (Snowdon, 1990). Algunas de estas técnicas son más efectivas sobre ciertos productos que otros, y las condiciones óptimas varían con los diferentes cultivos, temporadas de producción y épocas de cosecha.

Entre los tratamientos que se han probado para atenuar el DPF se encuentran: el calentamiento intermitente, temperaturas de acondicionamiento, atmósferas controladas, tratamientos con calcio o etileno, almacenamiento hipobárico, empacado en películas plásticas, aplicaciones de fungicidas como el benomil e imazalil y manipulación genética (Hardenburg, 1990; Wang, 1993).

### 3. OBJETIVOS

#### *Objetivos Generales*

- Determinar el potencial de conservación en fresco del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) almacenado en refrigeración.
- Establecer las condiciones de temperatura y humedad relativa en las que se obtenga el máximo período de almacenamiento para limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) recubierto sin que se desarrolle daño por frío

#### *Objetivos Particulares*

- Evaluar el daño por frío en limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a diferentes temperaturas de almacenamiento (4, 8, 13 y 25°C).
- Establecer la sintomatología del daño por frío en limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka).
- Determinar la calidad del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a diferentes periodos de almacenamiento a 4, 8, 13 y 25°C.
- Determinar el efecto combinado de la refrigeración y el uso de recubrimientos en la manifestación del daño por frío en el limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) almacenado a 8°C.
- Establecer cual de los recubrimientos estudiados, el comercial o CMAM, conserva mejor la calidad del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) almacenado a 8 y 13°C.

#### 4. HIPÓTESIS

- Al almacenar limones persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a una menor temperatura el daño por frío será mayor.
- El recubrimiento de los limones persa (*Citrus latifolia* Tanaka) con ceras reducirá el daño por frío y conservará la calidad del producto en mejores condiciones.



## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISIOLÓGICOS Y DE CALIDAD DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka)**

#### **5.1.1 MATERIAL BIOLÓGICO**

Se utilizó limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de la empacadora "La Tembladera" ubicada en la región de Martínez de la Torre en el estado de Veracruz, México; cosechados durante la tercera semana de noviembre de 1999. El tiempo transcurrido desde la recolección de los frutos hasta su recepción en el laboratorio fue de aproximadamente 24 horas.

De un lote de 1 tonelada de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) se seleccionaron 390 limones, en términos de color, tamaño y libres de defectos: calibre 200, color verde claro uniforme ( $h^{\circ}=125.9$ ) y libres de heridas o fisiopatías.

#### **5.1.2 TRATAMIENTOS**

Las temperaturas de almacenamiento que se evaluaron (tratamientos) fueron:

- 4°C (90 %HR) - Temperatura de inducción de DPF.
- 8°C (92 %HR) - Temperatura para determinar inducción de tolerancia al DPF.
- 13°C (94 %HR) - Temperatura comercial de almacenamiento.
- 25°C (58 %HR) - Temperatura ambiente (control).

Los frutos permanecieron en esas condiciones por un período total de 30 días.

Durante el período de almacenamiento se extrajeron las muestras de análisis los días: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 20, 25, y 30. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

### 5.1.3 ANÁLISIS INICIAL

Consistió en seleccionar al azar, de los 390 frutos, 15 limones a los que se les determinó el color, °Brix, pH, % de ácido cítrico y % de jugo; para contar con un marco de referencia en lo que se refiere a la calidad y estado de madurez con que se inició el estudio.

Así mismo se seleccionaron al azar 3 grupos de 5 limones cada uno, por cada temperatura de almacenamiento. Estas muestras se conservaron para la determinación de la cinética de pérdida de peso durante todo el período de almacenamiento. Para ello se registró el peso inicial de las muestras y durante los días de muestreo señalados.

### 5.1.4 ANÁLISIS DURANTE EL ALMACENAMIENTO

Se determinaron los parámetros fisiológicos de daño por frío (DPF) y pérdida fisiológica de peso (PFP). Los parámetros de calidad evaluados fueron: color, porcentaje de jugo, grados °Brix, acidez titulable y pH.

#### PARÁMETROS FISIOLÓGICOS

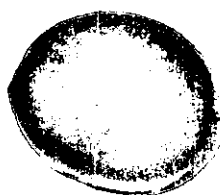
- Daño por frío (DPF): Para esta evaluación, se tomaron 5 limones al azar de cada una de las temperaturas el día correspondiente a la determinación, se dejaron por 24 horas a temperatura ambiente (20°C y 33 %HR) al término del cual se evaluó el desarrollo de síntomas de DPF.

La evaluación *cualitativa* del DPF se realizó empleando una carta de DPF de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) elaborada en el laboratorio, que tiene la siguiente escala:

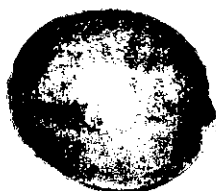
**Tabla 10.** Escala de evaluación del daño por frío

ESCALA	DAÑO POR FRÍO	% SUPERFICIE DAÑADA
0	SIN	0
1	LIGERO	1 - 10
2	MODERADO	11 - 25
3	SEVERO	26 - 100

Fuente: Cohen, 1994; Schirra, 1995 y Schirra, 1997.



1) Daño ligero



2) Daño moderado



3) Daño severo

**Figura 8.** Severidad del daño por frío en limón persa.

La evaluación *cuantitativa* del DPF se realizó considerando el área total del fruto como una esfera de la siguiente manera:

- 1) Se midió el perímetro ecuatorial con una cinta métrica.
- 2) Se evaluó el desarrollo de síntomas de DPF marcando la superficie dañada del fruto en papel celofán traspasándolo a papel milimétrico para la cuantificación del área con DPF.
- 3) Se calculó el porcentaje de área dañada por frío aplicando la fórmula para determinar la superficie de una esfera como se muestra a continuación:

$$\text{Superficie total} = \pi d^2$$

$$\pi = 3.1416$$

d = diámetro ecuatorial del fruto (cm)

El diámetro se obtiene de despejar la fórmula del perímetro de un círculo:

$$P = \pi d$$

obteniendo

$$d = P/\pi$$

P = perímetro ecuatorial medido a un limón

Se consideró que la superficie obtenida con esta fórmula corresponde al 100% de la superficie total, de esta manera se pudo determinar el porcentaje de superficie dañada como:

Superficie total del limón	-----	100%
Superficie con DPF	-----	X

- Pérdida fisiológica de peso (PFP): se empleó una balanza digital OHAUS EXPLORER con una sensibilidad de 0.01 g. La diferencia de peso de los lotes respecto a su peso inicial, se reportó en términos de porcentaje (%PFP).

$$\%PFP = 100 \times [1 - (P_s/P_i)]$$

%PFP = Porcentaje de pérdida fisiológica de peso

$P_s$  = peso promedio durante el almacenamiento

$P_i$  = peso promedio inicial

## PARÁMETROS DE CALIDAD

Las determinaciones de color, jugo, °Brix y pH se hicieron por triplicado tomando en cada ocasión 15 limones al azar por cada temperatura y dividiéndolos en 3 lotes.

- Color: se evaluó individualmente en cada uno de los limones de cada lote, con una carta de color de limón Persa (*Citrus latifolia* Tanaka) elaborada en el laboratorio con la siguiente escala:

1 = verde intenso

2 = verde claro

3 = verde claro con amarillo en un 25%

4 = verde claro con amarillo en un 50%

5 = amarillo con verde en un 25%

6 = amarillo

7 = senescente

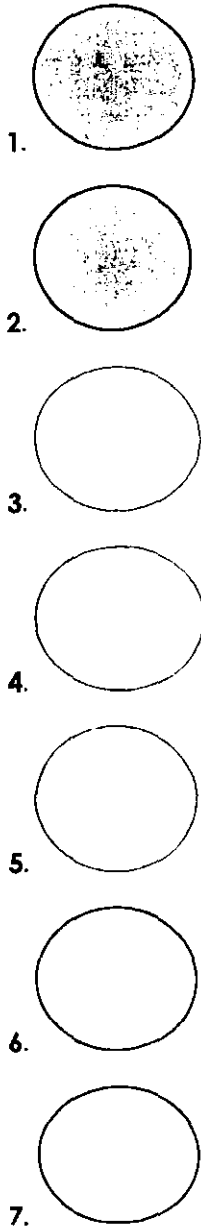
Para cada valor se determinó su equivalente con el Hunter-Lab DC-25 con tres limones para cada valor de la escala.

**TABLA 11.** Escala de color del limón persa

ESCALA	L	a	b	C	h
1	30,9	-9,0	11,5	14,6	127,9
2	32,5	-10,1	13,9	17,2	125,9
3	35,6	-10,1	16,7	19,6	121,2
4	46,9	-9,6	23,1	25,0	112,5
5	54,3	-9,9	28,0	29,7	109,7
6	58,1	-7,5	30,9	31,9	103,5
7	31,6	-2,2	13,5	13,7	100,8

Todos los valores corresponden al promedio de tres limones.

FIGURA 9. CARTA DE COLOR DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka)



Los valores dados por el colorímetro Hunter-Lab son L, a y b, representan valores de los ejes de un espacio tridimensional colorido e indican lo siguiente: -L=más oscuro, +L=más claro, -a=más verde, +a=más rojo, -b=más azul y +b=más amarillo.

El valor L representa la luminosidad de los objetos en una escala de blanco (L=100) a negro (L=0).

Los valores de a y b no dan una idea clara del color, por lo que es necesario hacer el cálculo de matiz de color (Hue) que es el atributo por el cual un objeto es identificado como rojo, amarillo, verde, etc., el cual indica, si es de 0° que el matiz es totalmente rojo, si el ángulo es 90° que es totalmente amarillo, y las diferentes combinaciones que se puedan dar entre 0 y 90°.

El ángulo hue (h°) se define como el ángulo entre la hipotenusa y 0° sobre el eje de a; h° es calculado del arco tangente de b/a.

Por otro lado el croma (C) es el índice de saturación, se calcula como:

$$C=(a^2 + b^2)^{1/2}$$

y representa la hipotenusa de un triángulo rectángulo creado por la unión de los puntos: (0,0), (a,b) y (a,0) en un espacio tridimensional; la longitud de ésta, indicará la intensidad del color en valores de 0 a 60, donde 0 es un color gris y 60 el matiz puro (McGuire, 1992; Trinidad, 1995).

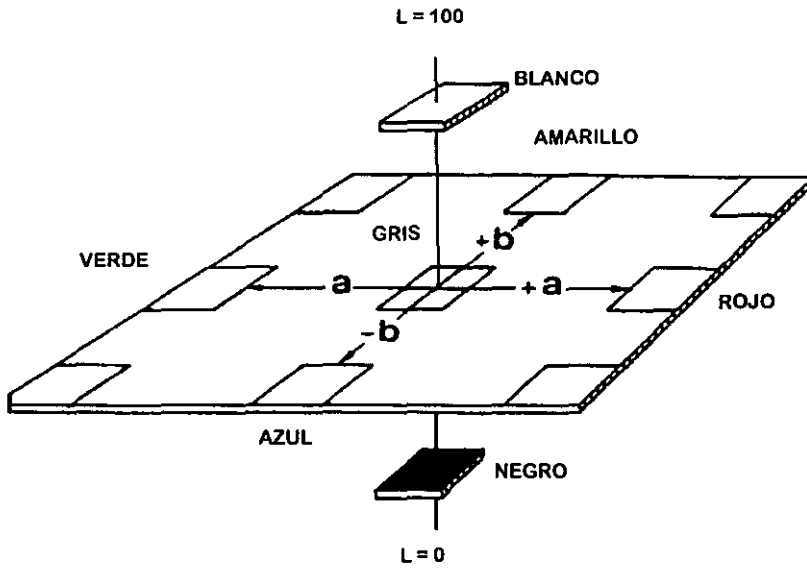


FIGURA 10. Espacio de color L, a, b del Hunter Lab. DeMan, 1990.

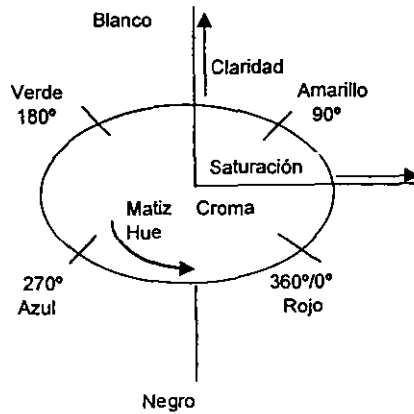


FIGURA 11. Sistema de coordenadas tridimensionales del color. Trinidad, 1995.



- % de Jugo: se determinó empleando un lote de 5 limones, previamente pesado, a los que se les extrajo el jugo con un extractor eléctrico Philips vitesse HR 2796, se filtró a través de una gasa. Se pesó el volumen obtenido en una probeta previamente tarada. Se determinó el % de jugo de la siguiente manera:

$$\% \text{ de jugo} = (\text{peso del jugo} / \text{peso de los 5 limones enteros}) \times 100.$$

- pH: se determinó con un potenciómetro digital ORION modelo 210 A empleando 50 ml de jugo filtrado.
- °Brix: se midió por triplicado con un refractómetro de mano ERMA (0-32%) previamente calibrado con agua destilada, empleando el jugo filtrado.
- Acidez Titulable: se determinó volumétricamente, empleando NaOH 0.1N (J. T. Baker) y una solución alcohólica de fenolftaleína (J. T. Baker) al 1% como indicador. Se tomó una alícuota de 10 ml de jugo filtrado y se aforó a 100 ml con agua destilada. Se tomó una alícuota de 10 ml, se agregó una gota de fenolftaleína y se tituló con NaOH 0.1N. Se reportó como % de ácido cítrico (AOAC, 1995).

$$\% \text{ de ácido cítrico} = [(N)(V)(\text{meq})(fd)(100)] / v \text{ de alícuota}$$

N = normalidad de la sosa

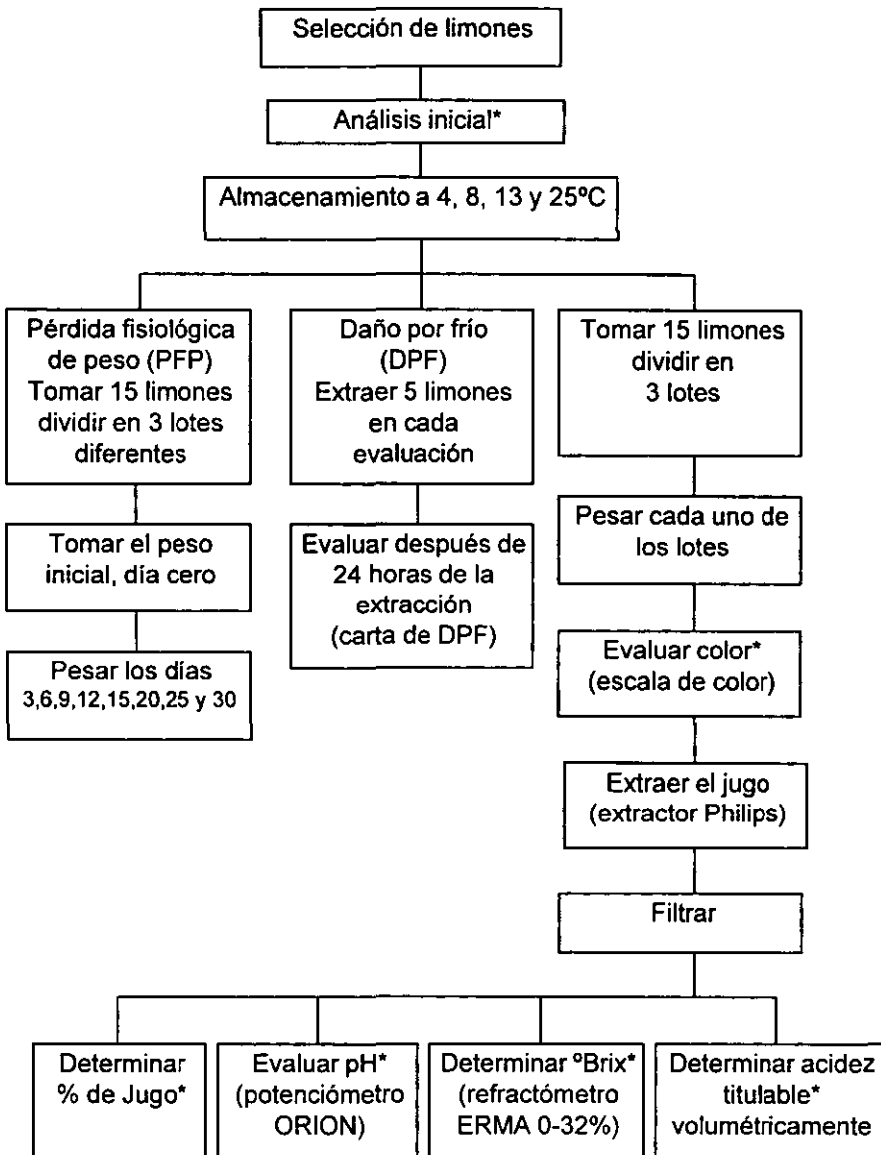
V = volumen de sosa gastada

meq = miliequivalente del ácido cítrico (0.064)

fd = factor de dilución (volumen final/volumen inicial) (100ml/10ml = 10)

v de alícuota = 10 ml de muestra analizada

### 5.1.5 DIAGRAMA DE TRABAJO



## 5.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISIOLÓGICOS Y DE CALIDAD DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka) CON RECUBRIMIENTOS

### 5.2.1 MATERIAL BIOLÓGICO

Se utilizó limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de la misma empacadora en Martínez de la Torre Veracruz, México; cosechados durante la segunda semana de marzo del 2000. El tiempo transcurrido desde la recolección de los frutos hasta su recepción fue el mismo que en la primera etapa (24 horas).

De un lote de 75 Kg. de limones persa (*Citrus latifolia* Tanaka) se seleccionaron 480 limones en términos de color, tamaño y libres de defectos.

Las características de los limones seleccionados fueron: calibre 200, color verde oscuro brillante ( $h^{\circ}=127.9$ ) y libres de heridas o fisiopatías.

### 5.2.2 TRATAMIENTOS

Los limones se dividieron en tres lotes de 160 limones cada uno.

- El primer lote se enceró por inmersión con la cera utilizada en la región de Martínez de la Torre marca EQUIVE™, de la cual no se especifica la composición, este recubrimiento se adquirió de la empacadora que proporcionó los frutos.
  
- Al segundo lote se le aplicó, también por inmersión, un recubrimiento desarrollado en la UAM-Iztapalapa a base de goma de mezquite y materiales hidrofóbicos como cera de candelilla y aceite mineral en proporción 2:1, denominada CMAM.
  
- El tercer lote, sin encerar, se tomó como grupo control.

A su vez cada uno de los lotes se dividió en dos grupos, uno para ser almacenado a 8°C y 92 %HR y el otro a 13°C y 94 %HR teniendo en total seis tratamientos. El período total de almacenamiento fue de 30 días.

Los días de muestreo para la evaluación del DPF, % de pérdida fisiológica de peso y color fueron: 0, 6, 12, 18, 24, y 30.

Dado que los cambios postcosecha en los parámetros de % de jugo, % de ácido cítrico y °Brix en cítricos no son significativos, se determinaron los días: 0, 18 y 30.

Todos los análisis se realizaron por triplicado

### 5.2.3 ANÁLISIS INICIAL

Se realizó de manera similar al primer experimento; seleccionando 9 limones al azar divididos en tres grupos de 3 limones cada uno. Se les determinó °Brix, % de ácido cítrico y % de jugo.

Para la determinación del % de pérdida fisiológica de peso, se tomaron 15 limones al azar y se dividieron en 3 lotes para cada una de las temperaturas de almacenamiento. Se pesaron tomándose para registrar el peso inicial, también se les determinó el color evaluándose este parámetro a los mismos limones durante todo el experimento para determinar los cambios de color en ellos durante el almacenamiento.

### 5.2.4 ANÁLISIS DURANTE EL ALMACENAMIENTO

#### PARÁMETROS FISIOLÓGICOS

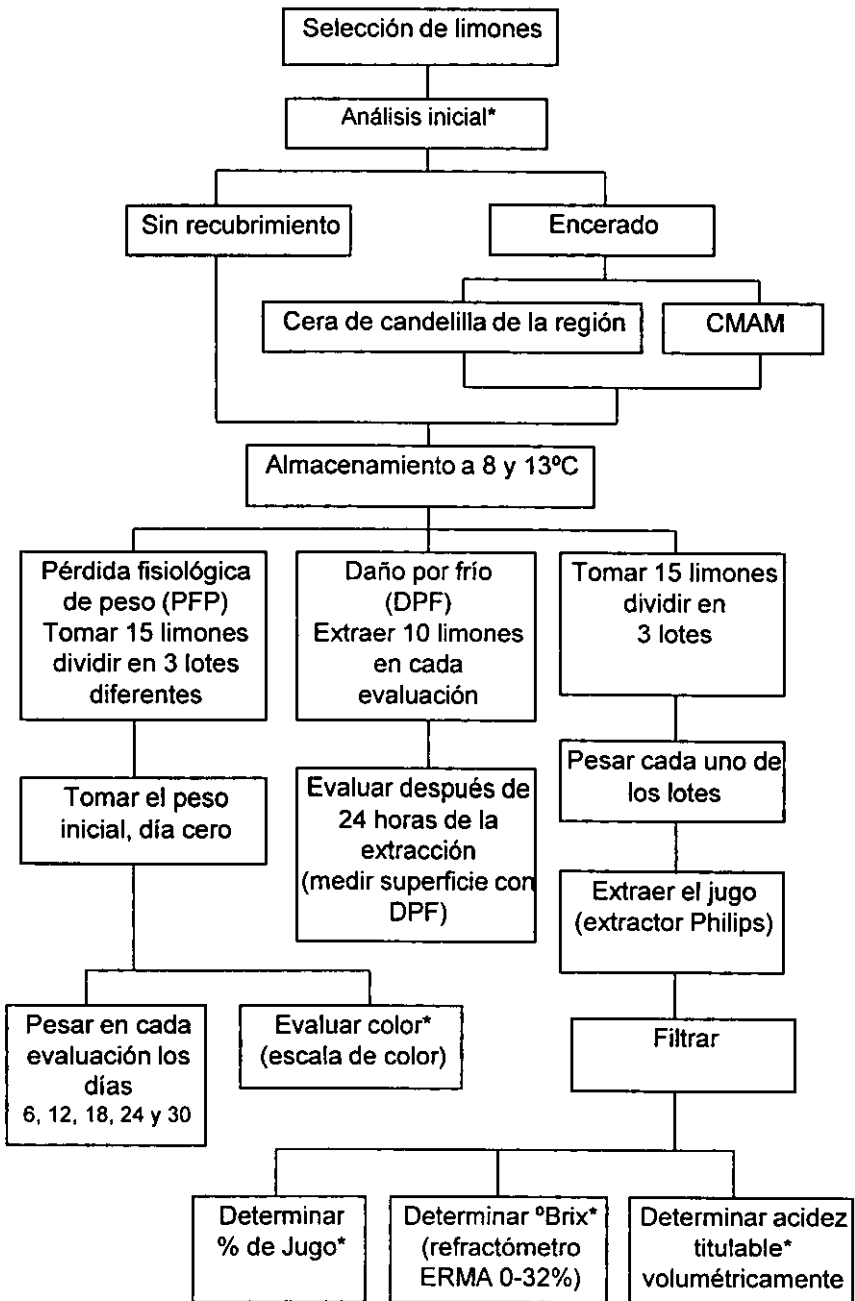
- Daño por frío (DPF): se determinó de la misma manera que en el primer experimento.

- Pérdida fisiológica de peso (PFP): se determinó como se indicó en 5.1.5
- Color: se evaluó empleando misma escala que se señaló en el primer experimento (5.1.5).

### PARÁMETROS DE CALIDAD

Las determinaciones % de jugo, % de ácido cítrico, y °Brix se realizaron tomando 9 limones, a los cuales se les evaluó previamente el DPF, y se dividieron en tres lotes de tres limones cada uno. Para hacer estas evaluaciones se utilizó la misma metodología que en 5.1.5.

### 5.2.1 DIAGRAMA DE TRABAJO



### 5.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Todos los análisis se realizaron por triplicado. Para el análisis e interpretación de los resultados se utilizó el programa Statistical Analysis System (SAS), por medio del cual se realizó el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia  $\alpha \leq 0.05$ . En los casos en los que hubo diferencia significativa, los promedios se compararon con la prueba de intervalos múltiples de Duncan (SAS, 1989).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 EFECTO DE LAS TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO EN LA RESPUESTA AL DAÑO POR FRÍO DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka)

#### PARÁMETROS FISIOLÓGICOS

##### • DAÑO POR FRÍO (DPF)

En la tabla 12 se presenta el grado de severidad y el porcentaje de frutos que fueron dañados por frío evaluados en los diferentes periodos de almacenamiento, se observa que los síntomas de DPF aparecieron en los limones almacenados a 8 y 4°C, siendo más acentuados en esta última.

El DPF se manifestó como picaduras de color pardo dañando la integridad de la estructura celular de la cáscara, formando hundimientos, estos síntomas concuerdan con lo reportado en la literatura para limones y otros cítricos (Hatton, 1983; Salunkhe, 1984; Sinclair, 1984; Wardowski, 1986; McCollum, 1991; McDonald 1985; Serrano, 1997; Wills, 1994).

El grado de severidad del DPF observado fue significativamente ( $\alpha \leq 0.05$ ) mayor en los frutos almacenados a 4°C (Tabla 12). La evolución del DPF fue la siguiente: DPF ligero (1-10% de superficie dañada) a partir del día 6 de almacenamiento, después del día 25 el daño fue moderado (11-25% de superficie dañada) hasta el final del período de almacenamiento, esto es, la severidad fue mayor al aumentar el tiempo de exposición a esta temperatura, lo cual era la respuesta esperada.

Como consecuencia de que los limones almacenados a 4°C presentaron DPF mayor al 10% de su superficie ya no se encontraban en condiciones óptimas para su comercialización a pesar de haber conservado el color verde durante todo el período de almacenamiento, pues el hundimiento de la cáscara y las manchas cafés le dieron una apariencia no agradable para el consumidor.



En lo que respecta a la cantidad, en la tabla 12 se observa que a partir del día 6 de almacenamiento se dañó el 40% de los frutos aumentando este porcentaje con el tiempo de almacenamiento hasta alcanzar el 100% al día 12 con un grado moderado de severidad como se mencionó.

Mientras que los frutos almacenados a 8°C presentaron DPF ligero (1-10% superficie dañada) los días 25 y 30 de almacenamiento con 40 y 20% de frutos dañados respectivamente (Tabla 12).

**TABLA 12.** Severidad y frecuencia del daño por frío en limón persa almacenado a 4°C y 8°C

Escala de DPF	Temperatura de almacenamiento 4°C							
	0 días	3 días	6 días	9 días	12 días	15 días	25 días	30 días
0	100%	100%	60%	20%				
1				80%	60%	60%	40%	
2			20%		40%	40%	20%	80%
3			20%				40%	20%
Escala de DPF	Temperatura de almacenamiento 8°C							
	0 días	3 días	6 días	9 días	12 días	15 días	25 días	30 días
0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	60%	80%
1							40%	20%
2								
3								

Durante los días 25 y 30 de almacenamiento a 8°C, los frutos presentaron un DPF ligero que pudo deberse al prolongado período de exposición de los limones a esta temperatura.

Otra razón que pudo influir en que el porcentaje de frutos dañados fuera mayor el día 25 (40%) respecto al día 30 (20%) es que los frutos pudieron haber estado sometidos a estrés por calor durante la cosecha y/o su manejo. Esto también puede deberse al efecto del muestreo ya que cada día se tomaron muestras independientes.

Se ha reportado en general que el DPF se presenta a temperaturas entre 0 y 12°C (Kamps, 1987; McCollum, 1991; Rab, 1996; Serrano, 1997; Walker, 1990). Sin embargo en este experimento observamos que la temperatura crítica para limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) es de 8°C y temperaturas mas bajas a esta (4°C) definitivamente induce el DPF en el limón persa. Las otras temperaturas evaluadas (13 y 25°C) no indujeron esta fisiopatía como se esperaba.

Los resultados obtenidos permiten sugerir a 8°C como temperatura crítica de almacenamiento por 20 días y posiblemente después de este tiempo transferirlo a una temperatura mayor como podría ser 10°C para evitar el desarrollo de daño por frío y prolongar su vida útil en fresco.

#### • % DE PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO

Como era de esperarse, en todas las temperaturas de almacenamiento el porcentaje de pérdida fisiológica de peso fue ascendente (Figura 12).

La PFP de los frutos almacenados a la temperatura de 4°C fue mayor que a 8 y 13°C ( $\alpha \leq 0.05$ ) (Figura 12). Este resultado se explica por el hecho de que el tejido del exocarpo se afectó por la baja temperatura induciendo el DPF, lo cual aumentó la permeabilidad de las membranas celulares (Rab, 1996), favoreciendo la pérdida del vapor de agua a través de la superficie dañada. Esto concuerda con lo reportado por Cohen (1994) para toronjas y limones en los cuales la pérdida de peso resultó ser un indicador no destructivo confiable del DPF.

No se encontró diferencia significativa ( $\alpha \leq 0.05$ ) en la pérdida de peso registrada a las temperaturas de almacenamiento a 8 y 13°C, durante todo el periodo de almacenamiento. A 8°C la pérdida de peso durante todo el ensayo no fue mayor al 10% (9.96 %PFP) y a 13°C fue poco mayor a 10% (10.85 %PFP) (Figura 12).

Como era de esperarse, la pérdida de peso de los frutos almacenados a 25°C fue significativamente mayor ( $\alpha \leq 0.05$ ) con respecto a las otras temperaturas, a partir del día 3 de almacenamiento. En este caso cabe señalar que además de la alta temperatura también influyó el promedio de la humedad relativa de la cámara de almacenamiento el cual fue muy bajo (58 %HR) lo que favoreció la evaporación del agua de la cáscara de los frutos con mayor rapidez para mantener un equilibrio entre la humedad relativa de la cámara de almacenamiento y los frutos.

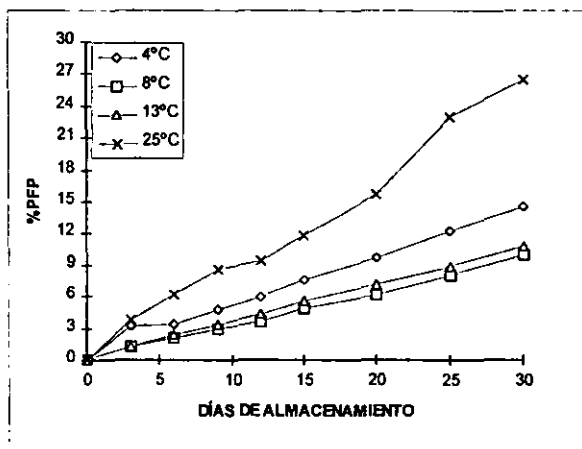


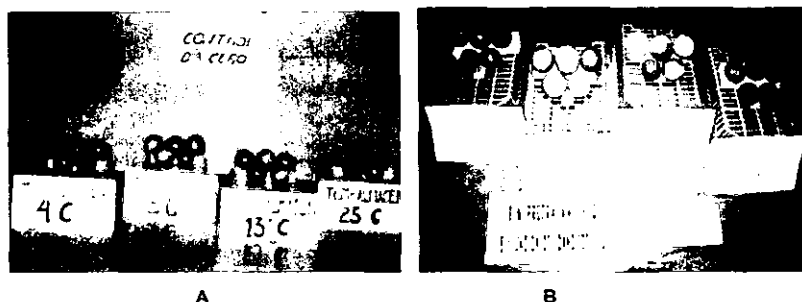
FIGURA 12. Evaluación del % de pérdida fisiológica de peso en limón persa almacenado a diferentes temperaturas.

Al finalizar el período de almacenamiento la pérdida fisiológica fue de 26.47 %, aproximadamente 2 veces mayor que a 4°C (14.57 %) y 2.5 veces mayor que a 8°C (9.96 % PFP) y 13°C (10.85 % PFP). En la última determinación a 25°C el grado de pérdida de agua fue lo suficientemente grande como para causar secado y arrugamiento de la cáscara.

## PARÁMETROS DE CALIDAD

### • COLOR

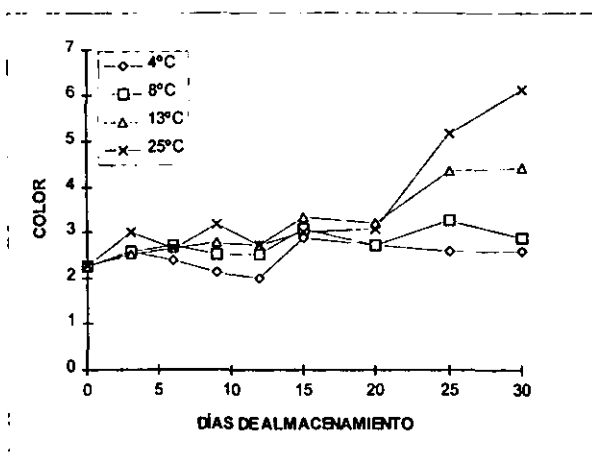
En la figura 13 se observa claramente que a menor temperatura la conservación del color en el limón persa es mayor.



**FIGURA 13.** Cambio de color del limón persa a las diferentes temperaturas de almacenamiento (4, 8, 13 y 25°C). Color al inicio del experimento (A) y color a los 30 días de almacenamiento (B).

A 4 y 8°C no hubieron diferencias significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ) en el color de los frutos durante todo el período de almacenamiento manteniéndose entre los valores 2 y 3 de la escala correspondientes a los colores verde claro ( $L=32.5$ ,  $C=17.2$  y  $h^{\circ}=125.9$ ) y verde claro con amarillo en un 25% ( $L=35.6$ ,  $C=19.6$  y  $h^{\circ}=121.2$ ), respectivamente (Figura 14). Estos limones conservaron las características de color óptimas para su comercialización y consumo.

A partir del día 25 el cambio de color de los frutos fue significativo a 13°C ( $\alpha \leq 0.05$ ) presentando un color verde claro con amarillo en un 50% ( $L=46.9$ ,  $C=25.0$  y  $h^{\circ}=112.5$ ) hasta el término del almacenamiento. A esta temperatura de almacenamiento el cambio de color se favorece principalmente por la acción de la clorofilasa (clorofil clorofilido-hidrolasa) la cual hidroliza el enlace éster del fitol de la clorofila, esta reacción ocurre naturalmente durante el proceso de maduración (catalizado por el etileno), así como en el almacenamiento de los vegetales frescos (Badui, 1995).



**FIGURA 14.** Evaluación del color del limón persa a diferentes temperaturas de almacenamiento.

El color de los limones almacenados a 25°C fue significativamente diferente ( $\alpha \leq 0.05$ ) a partir del día 25, con un valor de 5 (Figura 14) que correspondió a un color amarillo con verde en un 25% ( $L=54.3$ ,  $C=29.7$  y  $h^{\circ}=109.7$ ). A esta temperatura la degradación de la clorofila (asociada a la síntesis y acumulación de pigmentos carotenoides) estuvo acompañada de una pérdida en la turgencia (Sinclair, 1984; Wills, 1994) lo que provocó la deshidratación del exocarpo de tal manera que para el día 25 los limones tuvieron un color totalmente amarillo, siendo esto un indicador de la senectud de los limones.

En términos de los valores cromáticos del Hunter Lab DC-25, los limones en todas las temperaturas de almacenamiento tuvieron las mismas tendencias luminosidad (L), matiz de color ( $h^{\circ}$ ) y saturación del color (C); estos cambios fueron ligeros a 4 y 8°C, medianos a 13°C y notorios a 25°C, con lo cual podemos afirmar que a mayor temperatura de almacenamiento mayor cambio de color por degradación de la clorofila. La luminosidad aumentó positivamente, esto implica que los limones fueron más claros al término del experimento, dado que el matiz disminuyó del verde hacia el color amarillo, el cual es un color más claro que el verde. Respecto a la pureza del color (croma), esta aumentó, lo cual indica un ligero aumento de la intensidad del color.

Para poder entender mejor lo que los valores obtenidos C y h° quieren decir se muestran en el siguiente esquema para todas las temperaturas de almacenamiento:

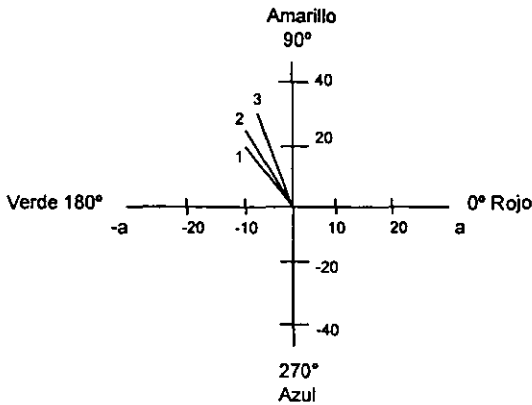


FIGURA 15. Representación del matiz (h) y pureza del color (C) del limón persa almacenado a 4 (1), 8 (1), 13 (2) y 25°C (3) a los 30 días de almacenamiento.

En la figura 15 se observa que en el espacio de color a mayor temperatura el cambio de color es mayor, es decir, es más próximo al color amarillo (90°).

### Componentes químicos

- En los análisis químicos: % de jugo, pH, °Brix y acidez titulable no se encontraron diferencias significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ) entre las temperaturas de almacenamiento, esto es de esperarse debido a que el limón es un fruto no climatérico por lo que la velocidad de los cambios metabólicos ocurren lentamente (Sinclair, 1984; Wardowski, 1986; Wills, 1994).

• % DE JUGO

No hubo efecto de la temperatura en los valores obtenidos en este parámetro ( $\alpha \leq 0.05$ ) durante todo el experimento de acuerdo al análisis de varianza, sin embargo en la tabla 13 se observa que las desviaciones estándar a 13 y 25°C (3.75 y 11.75) a los 30 días de almacenamiento son notablemente mayores a las del análisis inicial, 4°C y 8°C (2.03, 1.17 y 2.91 respectivamente) por lo cual se enmascara la diferencia que existe entre las medias.

A 13°C los limones tuvieron una disminución del % de jugo del 11.6% respecto al valor inicial; a 4, 8 y 25°C fue de 6.6, 5.5 y 5.9% respectivamente, por lo tanto el % de jugo de los limones almacenados a 13°C disminuyó el doble que las otras temperaturas de almacenamiento.

**TABLA 13.** Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el % de jugo en limón persa

Análisis inicial	Día 30 de almacenamiento			
Día cero	4°C	8°C	13°C	25°C
49.68±2.03	46.42±2.91a	46.96±1.17a	43.90±3.75a	46.75±11.75a

Los resultados son un promedio de las tres réplicas (Anexo I).

Prueba estadística de ANOVA ( $\alpha \leq 0.05$ ), letras iguales indican que no hay diferencia significativa aplicando la prueba de intervalos múltiples de Duncan.

Los valores obtenidos del % de jugo a 25°C a los 30 días de almacenamiento están muy dispersos así el valor menor fue de 34.02% y el mayor de 57.19% en consecuencia la desviación estándar (d.s.=11.75) fue aproximadamente cuatro veces mayor a las demás temperaturas, de tal modo que este valor ocultó la diferencia que existió en el % de jugo a 25°C con las otras temperaturas.

A 25°C el exocarpo de los limones estaba seco al término del almacenamiento mientras que a 13°C sólo algunos; aún así, presentaron un alto porcentaje de jugo puesto que el

albedo o mesocarpio (porción interna esponjosa de la cáscara) y la membrana se adelgazan durante el almacenamiento y los sacos de jugo aumentan en tamaño; como resultado, el jugo llega a estar más libre, disponible y capaz de ser extraído fácilmente. Además la respiración de la cáscara es considerablemente más alta que la de la pulpa, por lo que tiende a disminuir su peso mientras que el peso del resto de la fruta permanece constante (Sinclair, 1984). En este caso el % de jugo tuvo poca variación durante todo el experimento, ya que se mantuvo entre 43 y 50% de jugo para todas las temperaturas.

Las vesículas, además de ser relativamente impermeables también poseen una alta presión osmótica (Wardowski, 1986), así la pulpa retuvo su turgencia y jugo después de que la cáscara se tornó frágil y seca.

Cabe mencionar que el contenido de jugo durante todo el experimento y en todas las temperaturas es mayor (Tabla 13) al establecido por la norma mexicana (NMX-FF-077-1996-SCFI) para limón persa (42%).

#### • % DE ÁCIDO CÍTRICO, pH y °BRIX

En el transcurso del experimento, los resultados de estos parámetros no tuvieron diferencias significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ) por lo que sólo se muestran los datos del día inicial y final en cada caso (Tabla 14).

Debido a la naturaleza no climatérica del limón hay pocos cambios metabólicos por el hecho de que ocurre una gradual y lenta disminución en la respiración durante la maduración y senescencia por lo cual el % de ácido cítrico, pH y °Brix no presentaron variaciones significativas. Aparentemente, no ocurrieron marcadas reacciones bioquímicas que pudieran alterar la constante declinación en la curva de respiración de los limones, como son la síntesis bioquímica de ácidos orgánicos en los sacos de jugo, que aumentaría la acidez de las vesículas, ya que sólo hay cambios fuertes en el flavedo pero no en la pulpa porque la actividad respiratoria de los limones está localizada principalmente en el flavedo (Sinclair, 1984; Wardowski, 1986).



La variación en el % de ácido cítrico fue despreciable, sin embargo es el principal componente de la fracción ácida orgánica del limón maduro por lo tanto hubo muy poca o nula aportación de grupos carboxilo, los cuales al disociarse aportan iones hidronio, por lo que no varió el pH el cual se mantuvo entre 2.1-2.7.

Los grados brix tampoco presentaron variaciones significativas manteniéndose entre 8-9 en todas las temperaturas de almacenamiento.

**TABLA 14.** Efecto de la temperatura de almacenamiento en el % de ácido cítrico, pH y °Brix en limón persa

Día cero	Día 30 de almacenamiento			
Análisis inicial	4°C	8°C	13°C	25°C
<b>PORCENTAJE DE ÁCIDO CÍTRICO</b>				
5.62±0.06	5.66±0.29a	5.92±0.21a	6.21±0.37a	6.17±0.13a
<b>pH</b>				
2.36±0.03	2.56±0.03a	2.58±0.06a	2.52±0.01a	2.51±0.05a
<b>GRADOS BRUX</b>				
8.15±	8.87±0.12a	8.47±0.12a	9.07±0.42a	8.98±0.37a

Los resultados son un promedio de las tres réplicas (Anexo I).

Prueba estadística de ANOVA ( $\alpha \leq 0.05$ ), letras iguales indican que no hay diferencia significativa aplicando la prueba de intervalos múltiples de Duncan.

Comparando con la norma mexicana para limón persa (NMX-FF-077-1996-SCFI) los grados brix en todas las temperaturas y durante todo el experimento se mantuvo mayor al establecido por la norma, 6.8%, en cambio la acidez siempre fue menor, al 7% de ácido cítrico (Tabla 14), que establece la misma norma.

❖ Los resultados de composición química concuerdan con lo reportado para toronja la cual no presenta diferencias significativas (Chalutz, 1985). Sin embargo se considera interesante realizar pruebas sensoriales del limón persa para determinar si durante el

almacenamiento hay desarrollo de sabores y aromas desagradables por alteraciones en el proceso respiratorio que puedan causar una producción excesiva de etanol y acetaldehído como sucede en mandarinas envasadas en películas plásticas según reporta Pérez (1999), dado que es muy probable que existan cambios más sutiles a nivel de compuestos volátiles en el limón persa por efecto de la temperatura, período de almacenamiento, DPF y la senescencia misma. Al respecto se ha reportado el efecto de varias temperaturas (-18°, 2°, 4°, 10°, 27° y 38°C) sobre los constituyentes volátiles de naranja Valencia dañada y sin dañar utilizando cromatografía de gases como método para medir los compuestos volátiles en cítricos y se ha observado que el desprendimiento de compuestos volátiles aumenta en número y concentración conforme la temperatura aumenta. También se ha reportado que existen diferencias significativamente grandes en el aroma de la fruta y el perfil de cromatogramas en los frutos que están dañados por efecto de la temperatura (Sinclair, 1984).

Algunos compuestos volátiles que se han identificado por cromatografía en naranjas son: acetaldehído, etilacetato, etanol, alfa-pineno, beta-mirceno, d-limoneno y n-octanal. El pico más grande en todos los cromatogramas es el d-limoneno (Sinclair, 1984).

❖ De los resultados de los parámetros fisiológicos y de calidad en conjunto, se observó que a 8°C el DPF fue nulo, el color (factor determinante en la compra) se conservó con las características óptimas para su comercialización, el porcentaje de pérdida fisiológica de peso, fue menor respecto a las otras temperaturas de almacenamiento y los parámetros químicos no se ven afectados. Por lo anterior se concluye que 8°C es una temperatura de almacenamiento que puede recomendarse como crítica por 20 días para el limón persa, originario de Martínez de la Torre, tiempo en el cual puede llegar en óptimas condiciones a su destino de consumo.

## 6.2. RESPUESTA AL DAÑO POR FRÍO DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka) CON RECUBRIMIENTOS

De acuerdo con los resultados anteriores la temperatura a la cual se conservaron mejor las características físicoquímicas fue a 8°C por lo que los recubrimientos se aplicaron a limones que fueron almacenados a esta temperatura y a 13°C como control, para evaluar si éstos tenían un efecto mayor en la disminución del daño por frío. Se evaluaron los parámetros de calidad químicos: % de jugo, % de ácido cítrico y °Brix al inicio, mitad y al final del experimento.

### PARÁMETROS FISIOLÓGICOS

#### • DAÑO POR FRÍO

No hubo diferencia significativa ( $\alpha \leq 0.05$ ) en el daño por frío exhibido por los frutos de los tratamientos con recubrimientos y los limones control (sin recubrimiento) durante todo el almacenamiento. El desarrollo del DPF fue despreciable a 8°C (Ver anexo II) en los días que se presentó, la superficie dañada fue menor al 1%, lo cual confirma que 8°C es una temperatura recomendable para el almacenamiento del limón persa por 30 días. A 13°C no se desarrolló daño por frío como ya se había probado en el experimento anterior.

Respecto a la cantidad de frutos dañados por frío en todos los casos sólo el 10% de los frutos fueron afectados.

Los limones que fueron almacenados a 8°C sin recubrimientos presentaron trazas de DPF los días 6, 18 y 30 mientras que los limones que fueron encerados con cera CMAM sólo presentaron este daño a los días 12 y 30 de almacenamiento y en los frutos tratados con el recubrimiento de la región no hubo desarrollo de DPF (Ver anexo II), lo cual nos indica que los recubrimientos no tuvieron un efecto sinérgico con la temperatura de almacenamiento en la atenuación del DPF, puesto que los limones que no fueron recubiertos presentaron DPF ligeramente mayor a los recubiertos con CMAM.

Los resultados indican que no es necesario aplicar algún recubrimiento previo al almacenamiento a 8°C puesto que el limón persa desarrolla DPF menor al 1% y con muy poca frecuencia (<10%). Esto difiere con lo reportado por Chalutz (1985) quien encontró una disminución significativa del DPF en toronjas enceradas las cuales presentaron 9.5% de incidencia de DPF y las que no lo fueron presentaron 38.5%.

Si los periodos de almacenamiento excedieran los 30 días o la temperatura de almacenamiento fuera menor a 8°C se recomendaría recubrir los limones para atenuar significativamente el DPF.

Tanto los limones recubiertos como los que no lo fueron durante la cosecha de marzo del 2000 presentaron 10% menos superficie dañada que los cosechados en noviembre de 1999 (primer experimento), esto pudo deberse a factores climáticos como las fuertes lluvias que se presentaron durante 1999, factor que pudo influir en la susceptibilidad al DPF. Basándonos en lo anterior podemos decir que el limón persa es tolerante al DPF a 8°C por 20 días.

#### • % DE PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO

En este parámetro de calidad se puede observar claramente el efecto de la temperatura y sobre todo el uso de los recubrimientos. En el experimento anterior el %PFP fue menor en los frutos almacenados a 8°C que a 13°C por efecto de la temperatura.

En las figuras 16 y 17 se observa que en ambas temperaturas de almacenamiento los limones que no fueron recubiertos con ceras tuvieron mayor %PFP, 10 y 14% a 8° y 13°C respectivamente.

A 8°C los limones encerados con el recubrimiento CMAM presentaron menor %PFP siendo significativamente diferentes a los que no se enceraron ( $\alpha \leq 0.05$ ).

En el almacenamiento a 13°C también se encontraron diferencias significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ) por parte de los limones que no fueron encerados, con un %PFP de 13.92 a los 30 días, sin embargo entre los recubrimientos no hubo diferencia significativa durante todo el almacenamiento presentando un %PFP de 10.79 y 11.12 para la cera CMAM y de la región respectivamente.

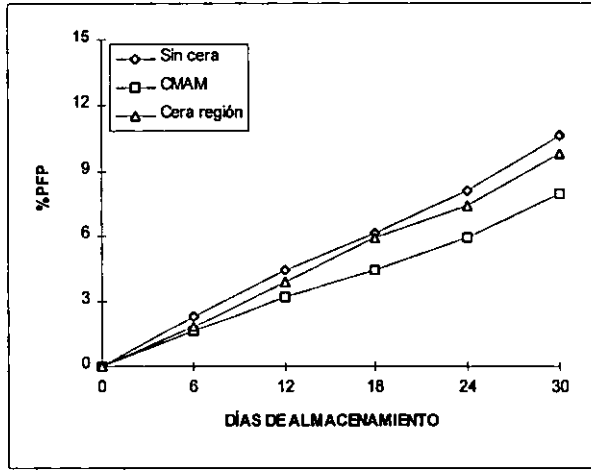


FIGURA 16. Evaluación del % de pérdida fisiológica de peso en limón persa almacenado a 8°C y 92%HR con y sin recubrimientos.

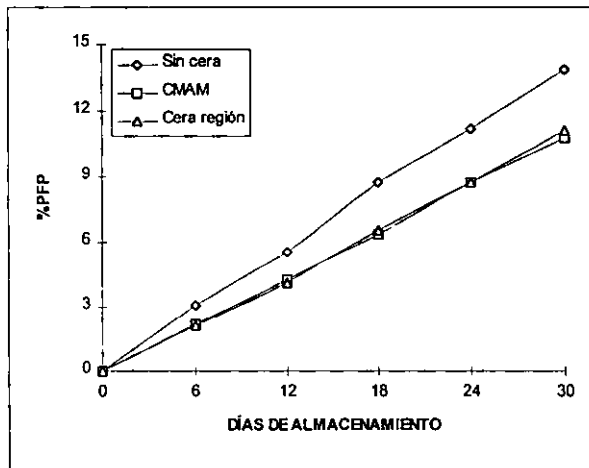
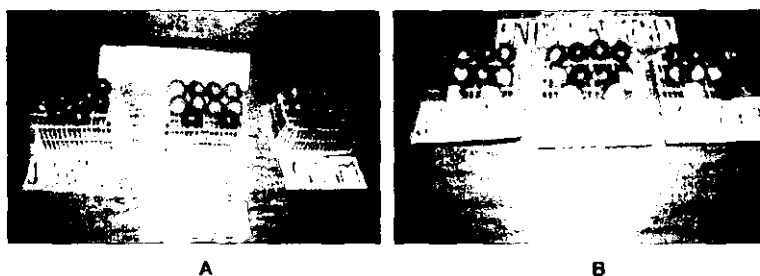


FIGURA 17. Evaluación del % de pérdida fisiológica de peso en limón persa almacenado a 13°C y 94%HR con y sin recubrimientos.

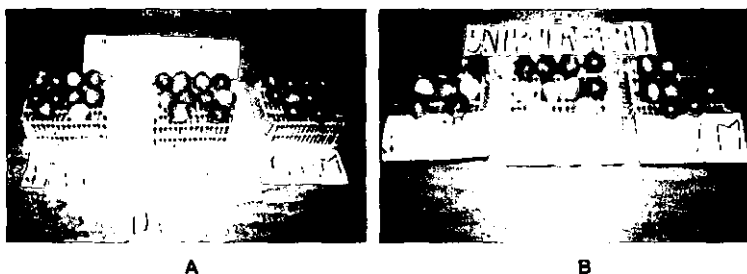
## PARÁMETROS DE CALIDAD

### • COLOR

A pesar de que no se encontró diferencia significativa ( $\alpha \leq 0.05$ ) entre los tratamientos en cambios de color del limón persa recubiertos, en los limones almacenados a 13°C (Figura 19) se observa que la pérdida del color verde y la aparición del color amarillo es mayor que los almacenados a 8°C (Figura 18), esto es debido a la diferencia de temperatura ya que a 13°C la actividad metabólica es mayor que a 8°C, promoviendo las reacciones y por la tanto variación en los aspectos físicos como lo es un mayor cambio del color.



**FIGURA 18.** Cambio de color del limón persa almacenado a 8°C y 92%HR sin recubrimientos, con la cera de la región y con la formulación CMAM. Color del limón persa al inicio del experimento (A) y a los 30 días de almacenamiento 30 (B).



**FIGURA 19.** Cambio de color del limón persa almacenado a 13°C y 94%HR sin recubrimientos, con la cera de la región y con la formulación CMAM. Color del limón persa al inicio del experimento (A) y a los 30 días de almacenamiento 30 (B).

En los limones almacenados a 8°C se presentó una ligera pérdida del color el día 6 de almacenamiento (Figura 20) pasando de un color verde intenso a un verde claro el cual se mantuvo durante todo el almacenamiento en los limones recubiertos y sin recubrir, lo que sugiere que a esta temperatura de almacenamiento no es necesario encerar los limones para conservar el color verde porque la temperatura es un factor determinante en la disminución del cambio de color, sin embargo el encerado se requiere para mejorar el aspecto de los frutos, mantener el aspecto fresco y disminuir la incidencia del DPF como se observó en los apartados dedicados a estos parámetros.

A 13°C (Figura 21), se observa que hay un efecto en la conservación del color por parte de ambas formulaciones, ya que en los limones que no fueron recubiertos la degradación de la clorofila fue mayor presentando un 25% de desarrollo de color amarillo.

La cera comercial utilizada en la región de Martínez de la Torre mejoró la apariencia de los frutos, proporcionó brillo a los productos resaltando el color. Las características de la cera CMAM en los limones fue opaca y quebradiza cuando los limones se ponían a temperatura ambiente, además de ser soluble al contacto con la humedad.

Hubo un retardo en la degradación de la clorofila por el uso de los recubrimientos que se atribuye a la creación de una atmósfera modificada.

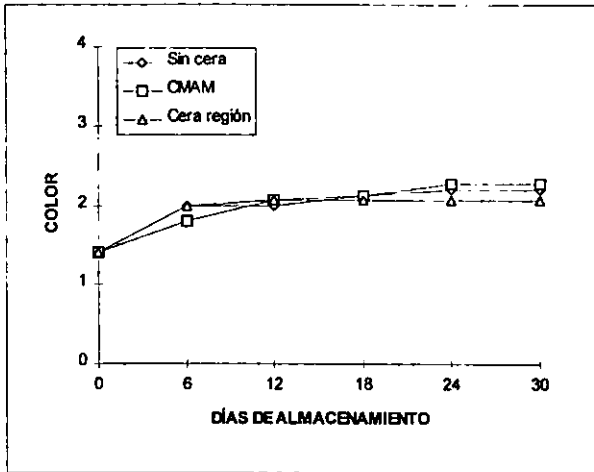


FIGURA 20. Evaluación del color del limón persa almacenado a 8°C y 92%HR con y sin recubrimientos.

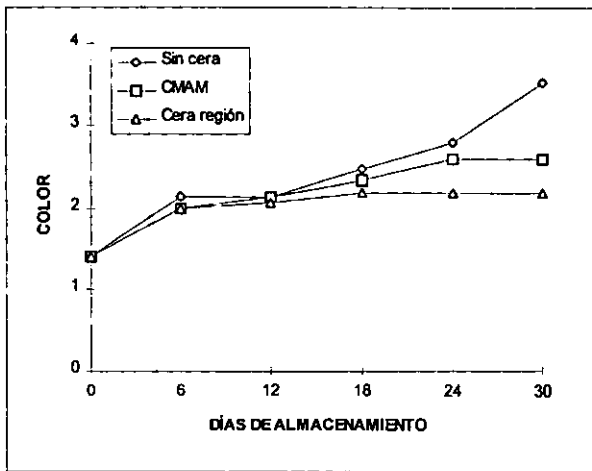


FIGURA 21. Evaluación del color del limón persa almacenado a 13°C y 94%HR con y sin recubrimientos.



## Componentes químicos

### • % DE JUGO

No hubo efecto significativo ( $\alpha \leq 0.05$ ) del uso de los recubrimientos en los resultados de este parámetro en ambas temperaturas de almacenamiento, como se puede observar en los datos en la tabla 15.

A 8°C no se observó una tendencia clara en los limones que no fueron recubiertos y los que lo fueron con la cera CMAM pero en ambos casos se conservó el porcentaje de jugo durante todo el almacenamiento cumpliendo con lo establecido por la norma mexicana para porcentaje de jugo en limón persa. En los limones almacenados con el recubrimiento comercial hubo una tendencia muy pequeña a disminuir lo cual pudo deberse a que influyó el tamaño de los frutos o el espesor de la cáscara en esta variación, el valor final de porcentaje de jugo fue ligeramente menor al establecido por la norma mexicana.

**TABLA 15.** Efecto de recubrimientos en limón persa almacenado a 8 y 13°C en el % de jugo

Temperatura (°C)	Recubrimiento	Días de almacenamiento		
		0	18	30
8	S/recubrimiento	42.61 ± 1.85a	46.18 ± 4.13a	42.68 ± 2.98a
	CMAM	42.61 ± 1.85a	44.38 ± 1.58a	42.31 ± 2.25a
	Cera región	42.61 ± 1.85a	42.38 ± 2.92a	41.32 ± 0.86a
13	S/recubrimiento	42.61 ± 1.85a	46.66 ± 2.22a	52.52 ± 1.40a
	CMAM	42.61 ± 1.85a	43.28 ± 2.66a	47.67 ± 3.78a
	Cera región	42.61 ± 1.85a	46.02 ± 3.09a	47.33 ± 4.40a

Los resultados son un promedio de las tres réplicas (Anexo II).

Prueba estadística de ANOVA ( $\alpha \leq 0.05$ ), letras iguales indican que no hay diferencia significativa aplicando la prueba de intervalos múltiples de Duncan.

A 13°C el por ciento de jugo fue mayor que a 8°C durante el almacenamiento puesto que este parámetro se determinó considerando el peso de todo el fruto y a 13°C la desecación de la cáscara fue mayor adelgazándola, por lo tanto el jugo ocupa mayor por ciento del fruto total. Este efecto se puede observar con mayor claridad en los limones que no fueron recubiertos pues tuvieron el mayor por ciento de jugo final de todos los tratamientos (52.52) incluyendo los almacenados a 8°C, debido a que no tenían ninguna protección contra la pérdida de humedad de la cáscara lo cual hizo que el jugo ocupará mayor porcentaje del peso total del fruto. En todos los tratamientos a 13°C se cumplió con lo especificado por la norma mexicana para limón persa.

Nuevamente se corroboró que los sacos de jugo conservan el agua (Sinclair, 1984; Wardowski, 1986, Braverman, 1993) y la variación en el % de jugo está determinada por el adelgazamiento de la cáscara y tamaño del fruto.

#### • % DE ÁCIDO CÍTRICO Y °BRIX

No se encontró diferencia significativa ( $\alpha \leq 0.05$ ) en el contenido de °Brix de los frutos recubiertos y sin recubrir almacenados a las diferentes temperaturas (Tabla 16).

Sin embargo, se puede apreciar en la tabla 16 que hay una tendencia de los °Brix a aumentar en todos los tratamientos. En los limones almacenados a 8°C, el aumento fue mayor en los limones no encerados (8.73 °Brix) seguido de los recubrimientos con la cera CMAM (8.47 °Brix) y de la región (8.11 °Brix), lo cual indica que la actividad metabólica es disminuida por el uso de las ceras al restringir el intercambio de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> entre los frutos y la cámara de almacenamiento, este efecto fue más efectivo con la cera de la región.

En lo que se refiere al porcentaje de ácido cítrico a 8 y 13°C no hubo diferencia significativa ( $\alpha \leq 0.05$ ) entre los tratamientos, no obstante también se observa una ligera tendencia a aumentar (Tabla 17), siendo los limones sin encerar los que presentaron mayor porcentaje de este ácido 6.47 y 6.76 a 8 y 13°C respectivamente.

**TABLA 16.** Efecto de recubrimientos en limón persa almacenado a 8 y 13°C en los °Brix

Temperatura (°C)	Recubrimiento	Días de almacenamiento		
		0	18	30
8	S/recubrimiento	7.78±0.24a	8.69±0.14a	8.73±0.12a
	CMAM	7.78±0.24a	8.42±0.69a	8.47±0.42a
	Cera región	7.78±0.24a	8.04±0.32a	8.11±0.34a
13	S/recubrimiento	7.78±0.24a	8.29±0.10a	8.62±0.10a
	CMAM	7.78±0.24a	8.20±0.00a	8.76±0.14a
	Cera región	7.78±0.24a	8.20±0.35a	8.73±0.18a

Los resultados son un promedio de las tres réplicas (Anexo II).

Prueba estadística de ANOVA ( $\alpha \leq 0.05$ ), letras iguales indican que no hay diferencia significativa aplicando la prueba de intervalos múltiples de Duncan.

**TABLA 17.** Efecto de recubrimientos en limón persa almacenado a 8 y 13°C en el % de ácido cítrico

Temperatura (°C)	Recubrimiento	Días de almacenamiento		
		0	18	30
8	S/recubrimiento	6.02±0.20a	6.15±0.13a	6.47±0.12a
	CMAM	6.02±0.20a	6.29±0.13a	6.05±0.37a
	Cera región	6.02±0.20a	6.25±0.16a	6.35±0.37a
13	S/recubrimiento	6.02±0.20a	6.20±0.05a	6.76±0.66a
	CMAM	6.02±0.20a	6.22±0.29a	6.44±0.25a
	Cera región	6.02±0.20a	6.22±0.44a	5.88±0.18b

Los resultados son un promedio de las tres réplicas (Anexo II).

Prueba estadística de ANOVA ( $\alpha \leq 0.05$ ), letras iguales indican que no hay diferencia significativa aplicando la prueba de intervalos múltiples de Duncan.

A 13°C el recubrimiento comercial fue significativamente diferente al presentar una disminución del porcentaje de ácido cítrico (5.88%) el día 30 de almacenamiento.

En ambas temperaturas y todos los tratamientos se determinó el valor de ácido cítrico establecido por la norma, al igual que en la primera parte del experimento, 7%, lo cual permite suponer que es un dato que no comprende al limón persa ya que en los experimentos siempre fue menor a éste, aún en los limones de los análisis iniciales que se encontraban en óptimas condiciones, y posiblemente este valor fue tomado como referencia de la norma de limón mexicano porque en este tipo de limón el contenido de acidez es mayor que el del limón persa. Otra posible causa es que el valor establecido por la norma si corresponda al de limón persa pero de alguna región de producción diferente a Martínez de la Torre. Finalmente se puede suponer que la norma es muy exigente en este aspecto.

## 7. CONCLUSIONES

- Las temperaturas de almacenamiento probadas (4, 8, 13 y 25°C) en el limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) con y sin recubrimientos no tuvieron efecto significativo ( $\alpha \leq 0.05$ ) en los parámetros de calidad: % de jugo, % de ácido cítrico, pH y °Brix durante un periodo de 30 días.
- Al evaluarse las temperaturas de estudio (4, 8, 13 y 25°C) se encontró que a 8°C (92%HR) el limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) no desarrolla daño por frío y conserva las características de calidad fisicoquímicas y de color para su consumo en fresco por 30 días.
- La temperatura de 4°C (90%HR) induce el desarrollo del daño por frío en el limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a partir de los seis días de almacenamiento.
- El recubrimiento a base de goma de mezquite, cera de candelilla y aceite mineral (CMAM) protege mejor al limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) contra la pérdida fisiológica de peso postcosecha respecto al recubrimiento comercial (EQUIVE™).

## 7.1 RECOMENDACIONES

- Los resultados indican que 8°C puede considerarse como temperatura crítica de almacenamiento para el limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en lugar de 13°C, lo cual aumentaría el margen de vida útil de este fruto. Por lo tanto se sugiere almacenar este cítrico a 8°C por 20 días, como margen de seguridad, y después transferirlo a una temperatura mayor como podría ser 10°C para evitar el desarrollo de daño por frío.
- Sería conveniente alargar el período de almacenamiento del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a 8°C para determinar el tiempo máximo que puede conservarse a esta temperatura incluyendo en este estudio análisis sensoriales y/o de compuestos más finos como son los volátiles, puesto que los parámetros de calidad no presentan cambios durante el almacenamiento.
- Debe mejorarse la formulación a base de goma de mezquite, cera de candelilla y aceite mineral de tal manera que no sea quebradiza y se solubilice fácilmente con la humedad para que pueda impartir un mejor aspecto a los frutos.

## BIBLIOGRAFÍA

AOAC Association of Official Analytical Chemist. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. Official Method 942.15. Acidity (Titratable) of Fuits Products. Capítulo 37, Fruits and Fruits Products. Vol. II. 16th Edition. EUA. 10.

ASERCA<sup>1</sup> Claridades Agropecuarias. 30 Febrero, 1996. El limón persa y el limón mexicano: la complementariedad en el mercado. 3-17.

ASERCA<sup>2</sup> Claridades Agropecuarias. 30 Febrero, 1996. Producción mundial de limón. 18-24.

Badui Dergal, S. 1995. Química de los alimentos. Alhambra Mexicana. México. 213.

BANCOMEXT. 1998. Perfil del limón. Estados Unidos. 1, 8, 9 y 15.

BNPC (Banco Nacional del Pequeño Comercio). 1990. Sistema producto limón mexicano para el Distrito Federal. Coordinación General de Abasto y Distribución del DDF. México. 7.

Ben-Yehoshua, S., 1967. Some physiological effects of various skin coatings on orange fruit. Israel Journal Agricultural Research. 17:17-27.

Bosquez Molina, E. 1992. Manual de prácticas de laboratorio de fisiología postcosecha de frutas y hortalizas. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. México. 57 y 58.

Bosquez Molina, E., Reyes López, E. y Jaime Galván, E. 1993. Encerado de frutas y hortalizas. Hortalizas, Frutas y Flores. 9:10-16.

Bosquez M. E., Vernon C. E. J., Pérez F. L., Guerrero L. I. 2000. Películas y cubiertas comestibles para la conservación en fresco de frutas y hortalizas. *Industria Alimentaria*. 14-36.

Braverman, J.B.S y Berk, Z. 1993. Introducción a la bioquímica de los alimentos. *El Manual Moderno*, México. 201, 311 - 314.

Brody, A. L. 1994. Envasado de alimentos en atmósferas controladas modificadas y al vacío. *Acribia*, España. 119 y 120.

CEA (Centro de Estadística Agropecuaria). Situación al 31 de octubre del 2000. *Estadística Básica Agropecuaria. Avance de Producción Agropecuaria por producto*. Perennes. Limón. p. 97.

Ceras desérticas S. A. 2000. Triptico Cera de candelilla. Editado por la compañía Ceras desérticas S. A. México. 3.

Chalutz, E., Waks, J. y Schiffmann-Nadel M. 1985. Reducing Susceptibility of Grapefruit to Chilling Injury during Cold Treatment. *Hortscience* 20(2):226-228.

Cohen, E., Shapiro B., Shalom, Y. y Klein J. D. 1994. Water loss: a nondestructive indicator of enhanced cell membrane permeability of chilling injured *Citrus* fruit. *Journal of American Society Horticultural Science*. 119(5):983-986.

Curti Díaz, S. A. 1996. Manual de producción de limón Persa. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), México. 1, 128, 131.

DeMan, J. M. 1990. *Principles of Food Chemistry*. Van Nostrand Reinhold, EUA. 215.

Desrosier, W. N. 1987. *Conservación de Alimentos*. Compañía Editorial Continental, México. 78, 79, 80, 83, 88, 89, 362.



Espinosa Solares, T y Santoyo Cortés, V. H. 1992. El Mercado del limón en México. Reporte de investigación 08. CIESTAAM, México. 2, 11, 12

FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Databases), Datos Agrícolas. 2000. Datos de producción e índices de producción. <http://apps.fao.org>

Fennema, O. R. 1993. Química de los alimentos. Editorial Acribia. España. 988-989.

Food Markets in Review. 1998/99. Fresh Fruits. The Food Institute, EUA. 218,219.

Gómez<sup>1</sup> Cruz, M. A., Schwentesius Rindermann, R., y Barrera González, A. 1994. El limón Persa en México una opción para el trópico. SARH, México. 18,22-24, 26, 29, 30, 40, 48, 50, 51, 62, 86, 87, 155 y 186.

Gómez<sup>2</sup> Cruz, M. A., Schwentesius Rindermann, R., y Barrera González, A. 1994. La competitividad de la producción de limón Persa de México frente a la de Florida, EUA. En: Memorias III Simposium Internacional sobre sistemas de producción en cítricos. CIESSTAAM, México. 59-66.

Hardenburg, R. E., Watada, A. E., y Yi Wang, Ch. 1990. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service. Agriculture Handbook Number 66. 2.

Hatton<sup>1</sup>, T. T. y Cubbedge, R. H. 1982. Reducing chilling injury in grapefruit by prestorage conditioning. USDA-ARS-Advances in Agricultural. Technology., Southern Services No. 25.

Hatton<sup>2</sup>, T. T. y Cubbedge, R. H. 1982. Conditioning Florida grapefruit to reduce chilling injury during low-temperature storage. Journal of American Society Horticultural Science. 107(1):57-60.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Hui, Y.H. 1992. Enciclopedia of Food Science and Technology. Vol 1. Wiley-Interscience Publication. EUA. pp. 422-424.

Kader, A. A.; Kasmire, R. F., Mitchell, F.G., Reid, M. S., Sommer, N.F., y Thompson, J. F. 1985. Postharvest Technology of Horticultural Crops. Cooperative Extension, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, EUA.153

Kamps, T. L., Isleib, T. G., Hener, R. C., Sink, K. C. 1987. Evaluation of techniques to measure chilling injury in tomato. HortScience 22(6): 1309-1312.

Lloyd, R. A. y Lipton, W.J., 1972. Handling Transportation and Storage of Fruits and Vegetables. The AVI Publishing Company, Inc.

Markhart III, A. H. 1986. Chilling Injury: a review of possible causes. HortScience. 21(6): 1329-1333.

McCollum, T. G. y McDonald, R. E. 1991. Electrolyte Leakage, respiration and ethylene production as indices of chilling injury in grapefruit. HortScience 26(9):1191-1192.

McDonald, R.E., Hatton, T.T. y Cubbedge, R.H. 1985. Chilling injury and decay of lemons as affected by ethylene, low temperature, and optimal storage. HortScience 20(1):92-93.

McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience 27(12):1254-1255.

Morin, L., C. 1985. Cultivo de los cítricos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura., San José, Costa Rica. 12, 575.

Norma Mexicana NMX-FF-077-1996-SCFI. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - Fruta fresca - Limón Persa (*Citrus Latifolia* L.) especificaciones. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Palacios, J. 1978. Citricultura moderna. Editorial Hemisferio Sur, Argentina. 80.

Paredes López, O., García, B. G. 1973. Cera de candelilla para la conservación de cítricos. Tecnología de Alimentos. 180-182.

Paredes López, O., Camargo Rubio, E., y Ramírez Montes, A. 1974. Películas protectoras para la conservación de frutas. Tecnología de Alimentos. 9:68-75.

Pérez Guzmán, A. E., Saucedo Veloz, C. y Arana Errasquín R. 1999. Efecto del envasado individual con películas plásticas en la calidad de mandarinas Dancy almacenadas en refrigeración. Food Science and Technology International. 5(3):215-222.

Pralt, M. R. 1987. Guía de Florida sobre insectos, enfermedades y trastornos de la nutrición en los frutos cítricos. Limusa, México. 158.

Purvis C. A. 1985. Relationship between chilling injury of grapefruit and moisture loss during storage: amelioration by polyethylene shrink film. Journal of American Society Horticultural Science. 110(3):385-388.

Rab, A. y Saltveit, M. E., 1996. Sensitivity of seedling radicles to chilling and heat-shock-induced chilling tolerance. Journal of American Society Science. 121(4):711-715.

SAGAR (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural). 1996. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. México. Tomo I. 654, 655. Tomo II. 370, 371.

Salunkhe, D.K. y Desai, B.B. 1984. Postharvest biotechnology of vegetables. Vol I. CRC Press, Inc, EUA. 50, 51.

Sanlunkhe, D.K. y Kadam, S. S. 1995. Handbook of Fruit Science and Technology. Marcel Dekker Inc. EUA. 39-54.

SAS (Statistical Analysis System) Institute. 1989. SAS User's Guide: Statistics. SAS Institute Inc., Cary, N. C.

Schirra, M. y Mulas, M. 1995. Fortune Mandarin quality following prestorage water dips and intermittent warming during cold storage. *HortScience* 30(3):560-561.

SEDAPVER (Sistema de Información Agropecuaria, Forestal y Pesquero del Estado de Veracruz). Segundo Informe de Gobierno. 1999-2000. Cítricos, Agroindustrias del Subsector Agrícola Cítricos. <http://sedapver.gob.mx/agroindustria/citricos.htm>.

Serrano, M., Martínez-Madrid, M.C., Pretel, M. T., Riquelme, F. y Romojaro, F. 1997. Modified atmosphere packaging minimizes increases in putrescine and abscisic acid levels caused by chilling injury in pepper fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45: 1668-1672.

Sinclair, W. B. 1984. The biochemistry and physiology of the lemon and other citrus fruits. University of California Division of Agriculture and Natural Resources. *EUA*. 44, 46, 67, 69, 82, 92, 143-149, 502-509, 605-609, 615, 636, 637, 644-647, 652, 658-667.

Snowdon, A. L. 1990. A Color Atlas of Post-Harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables. General Introduction and Fruits. Vol. 1. CRS Press. Inc., EUA. 87.

SEF (Sociedad Española en Fitopatología). 2000. Enfermedades de los cítricos, Monografía de las Sociedad Española en Fitopatología No. 2. Ediciones Mundi-Prensa. 103 y 104.

Thompson, J. F., Mitchell, F. G., Rumsey, T. R., Kasmire, R. F. y Crisosto, C. H. 1999. El enfriamiento comercial de frutas, hortalizas y flores. Universidad de California. División de Agricultura y Recursos Naturales. Publicación 21567. 8.

Trinidad Velasco, M. 1995. Efecto de la refrigeración y atmósferas controladas en la conservación en fresco de mango "Kent". UNAM. México. (Tesis de licenciatura)

Walker, M. A., Smith, D. M., Pauls, K. P. y McKersie, B. D. 1990. A chlorophyll fluorescence screening test to evaluate chilling tolerance in tomato. *HortScience* 25(3):334-339.

Wang, C Y. 1993. Approaches to Reduce Chilling Injury of Fruits and Vegetables. *Horticulture Review*. 15:63-95.

Wardowski, W. F., Nagy, S., y Grierson, W. 1986. Fresh Citrus Fruits. AVI Publishing Company, Inc., EUA. 3, 4, 13, 16-19, 361-362, 370-373, 480-482, 491, 492.

Weichmann, J. 1987. Postharvest physiology of vegetables. Marcel Dekker, Inc., EUA. 305-308, 311, 314, 315.

Wills, R.H.H., Lee, T.H., McGlasson, W.B., Hall, E.G. y Graham, D. 1998. Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas post-recolección. *Acribia*, España. 18, 19, 25, 37, 44, 46, 51, 58-63, 81-85, 90,131.

Ziegler, W. L. y Wolfe, S. H. 1961. Citrus Growing in Florida. University of Florida Press, Gainesville. 51-54.

### DAÑO POR FRÍO (DESPUÉS DE 24 HORAS)

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T	0	0	2	1	2	1	0	3	2
4°C	0	0	3	1	2	2	0	3	2
	0	0	0	1	1	2	0	2	3
	0	0	0	1	1	1	2	1	2
	0	0	0	0	1	1	3	1	2
Prom.	0.00	0.00	1.00	0.80	1.40	1.40	1.00	2.00	2.20
Desvest	0.00	0.00	1.41	0.45	0.55	0.55	1.41	1.00	0.45

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T	0	0	0	0	0	0	0	1	0
8°C	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	3	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Prom.	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.40	0.20
Desvest	0.00	0.00	0.00	1.34	0.00	0.00	0.00	0.55	0.45

## PORCENTAJE DE PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T	0	3.30	3.52	4.75	6.18	7.88	10.13	12.63	15.02
4°C	0	3.29	3.20	4.67	5.86	7.52	9.67	12.00	14.34
	0	3.02	3.21	4.69	6.01	7.35	9.32	11.95	14.34
Prom.	0.00	3.20	3.31	4.70	6.02	7.58	9.71	12.19	14.57
Desvest	0.00	0.16	0.18	0.04	0.16	0.27	0.41	0.38	0.39

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T	0	1.40	2.38	3.25	4.21	5.54	7.01	8.88	11.25
8°C	0	1.27	2.02	2.68	3.31	4.36	5.48	7.08	8.79
	0	1.13	1.91	2.71	3.53	4.74	6.08	7.96	9.83
Prom.	0.00	1.27	2.10	2.88	3.68	4.88	6.19	7.97	9.96
Desvest	0.00	0.14	0.25	0.32	0.47	0.60	0.77	0.90	1.23

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T	0	1.19	2.25	3.30	4.16	5.31	6.83	8.43	10.31
13°C	0	1.39	2.57	3.72	4.95	6.38	8.31	10.27	12.53
	0	1.17	2.17	3.09	3.87	4.96	6.46	7.98	9.72
Prom.	0.00	1.25	2.33	3.37	4.33	5.55	7.20	8.89	10.85
Desvest	0.00	0.12	0.21	0.32	0.56	0.74	0.98	1.21	1.48

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T	0	4.18	6.93	8.28	9.67	10.72	16.42	23.08	26.63
25°C	0	3.47	6.26	8.90	8.65	9.96	15.45	23.18	26.44
	0	3.85	5.45	8.64	9.91	14.76	15.19	22.72	26.33
Prom.	0.00	3.83	6.21	8.61	9.41	11.81	15.69	22.99	26.47
Desvest	0.00	0.36	0.74	0.31	0.67	2.58	0.65	0.24	0.15

## CAMBIO DE COLOR

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T 4°C	2.0	2.6	2.8	2.2	2.0	2.6	2.6	2.8	2.6
	2.0	2.4	2.6	2.0	2.0	3.2	2.8	2.4	2.4
	2.0	2.8	1.8	2.2	2.0	2.8	2.8	2.6	2.8
Prom.	2.00	2.60	2.40	2.13	2.00	2.87	2.73	2.60	2.60
Desvest	0.00	0.20	0.53	0.12	0.00	0.31	0.12	0.20	0.20

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T 8°C	2.0	2.8	2.8	2.6	2.6	3.4	3.0	3.4	3.0
	2.0	2.8	2.8	2.8	2.4	3.0	2.8	3.0	2.6
	2.0	2.2	2.6	2.2	2.6	2.8	2.4	3.4	3.0
Prom.	2.00	2.60	2.73	2.53	2.53	3.07	2.73	3.27	2.87
Desvest	0.00	0.35	0.12	0.31	0.12	0.31	0.31	0.23	0.23

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T 13°C	2.0	2.4	3.0	2.8	3.0	3.4	3.4	4.0	4.4
	2.0	2.6	2.4	2.6	2.6	3.0	3.4	4.6	4.4
	2.0	2.6	2.6	3.0	2.6	3.6	2.8	4.4	4.4
Prom.	2.00	2.53	2.67	2.80	2.73	3.33	3.20	4.33	4.40
Desvest	0.00	0.12	0.31	0.20	0.23	0.31	0.35	0.31	0.00

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T 25°C	2.0	2.8	2.6	3.6	2.2	3.2	2.6	5.2	6.6
	2.0	3.2	2.6	3.2	3.6	3.0	3.2	6.2	6.0
	2.0	3.0	2.8	2.8	2.4	2.8	3.4	4.2	6.0
Prom.	2.00	3.00	2.67	3.20	2.73	3.00	3.07	5.20	6.20
Desvest	0.00	0.20	0.12	0.40	0.76	0.20	0.42	1.00	0.35



## PORCENTAJE DE JUGO

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T 4°C	47.49	50.95	45.16	46.37	41.67	47.10	49.94	40.34	46.69
	50.06	44.21	45.02	42.81	44.58	47.38	49.82	46.34	43.38
	51.49	63.23	40.74	45.73	42.78	52.70	47.03	49.25	49.18
Prom.	49.68	52.80	43.64	44.97	43.01	49.06	48.93	45.31	46.42
Desvest	2.03	9.64	2.51	1.90	1.47	3.16	1.65	4.54	2.91

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T 8°C	47.49	43.17	45.76	39.95	47.60	44.97	42.42	43.83	45.98
	50.06	43.92	44.55	47.33	46.98	43.75	45.64	45.32	48.26
	51.49	42.79	40.61	47.60	47.83	46.88	44.13	43.05	46.65
Prom.	49.68	43.29	43.64	44.96	47.47	45.20	44.06	44.07	46.96
Desvest	2.03	0.58	2.69	4.34	0.44	1.58	1.61	1.15	1.17

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T 13°C	47.49	43.48	45.33	49.58	50.36	46.63	42.68	45.77	48.08
	50.06	44.22	47.13	47.07	46.34	48.75	50.69	39.13	42.81
	51.49	67.57	42.97	47.40	45.94	46.68	52.82	44.93	40.82
Prom.	49.68	51.76	45.14	48.02	47.55	47.35	48.73	43.28	43.90
Desvest	2.03	13.70	2.09	1.36	2.44	1.21	5.35	3.62	3.75

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T 25°C	47.49	53.14	43.21	49.07	50.88	45.99	52.59	52.48	57.19
	50.06	41.10	36.91	47.66	44.34	49.24	49.92	50.27	49.04
	51.49	44.21	49.94	47.63	49.46	50.56	54.05	54.73	34.02
Prom.	49.68	46.15	43.35	48.12	48.23	48.60	52.19	52.49	46.75
Desvest	2.03	6.25	6.52	0.82	3.44	2.35	2.09	2.23	11.75

## GRADOS BRIX

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T	8.20	8.67	8.20	8.40	9.00	8.60	8.40	8.47	8.80
4°C	8.26	8.87	8.60	8.80	8.67	8.80	8.33	8.20	8.80
	8.00	8.53	8.53	8.33	8.67	8.60	9.00	8.33	9.00
Prom.	8.15	8.69	8.44	8.51	8.78	8.67	8.58	8.33	8.87
Desvest	0.14	0.17	0.21	0.25	0.19	0.12	0.37	0.14	0.12

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T	8.20	8.20	8.86	8.40	8.60	8.40	8.80	8.67	8.60
8°C	8.26	8.66	9.00	8.33	8.20	8.40	8.73	8.33	8.40
	8.00	8.60	8.53	8.33	8.73	8.60	8.60	8.87	8.40
Prom.	8.15	8.49	8.80	8.35	8.51	8.47	8.71	8.62	8.47
Desvest	0.14	0.25	0.24	0.04	0.28	0.12	0.10	0.27	0.12

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T	8.20	8.66	8.87	8.80	8.20	9.00	9.00	9.00	9.40
13°C	8.26	8.60	9.33	8.13	8.40	8.86	8.73	8.80	8.60
	8.00	8.13	8.80	8.60	8.80	8.80	9.00	9.00	9.20
Prom.	8.15	8.46	9.00	8.51	8.47	8.89	8.91	8.93	9.07
Desvest	0.14	0.29	0.29	0.34	0.31	0.10	0.16	0.12	0.42

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T	8.20	8.60	8.40	8.66	8.80	8.60	9.27	8.40	8.60
25°C	8.26	8.47	8.80	8.80	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
	8.00	8.60	9.00	8.60	8.80	9.27	8.40	8.33	9.33
Prom.	8.15	8.56	8.73	8.69	8.87	8.96	8.89	8.58	8.98
Desvest	0.14	0.08	0.31	0.10	0.12	0.34	0.45	0.37	0.37

## PORCENTAJE DE ÁCIDO CÍTRICO

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T	5.56	5.96	5.95	5.83	5.95	6.14	5.93	6.22	5.34
4°C	5.67	5.67	6.24	5.42	6.71	6.34	6.25	6.31	5.73
	5.62	5.31	5.75	5.98	6.77	6.58	6.40	5.83	5.90
Prom.	5.62	5.65	5.98	5.74	6.48	6.35	6.19	6.12	5.66
Desvest	0.08	0.33	0.25	0.29	0.46	0.22	0.24	0.26	0.29

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T	5.56	6.35	6.24	5.86	6.29	6.25	5.99	5.94	5.94
8°C	5.67	5.47	5.88	5.90	6.69	6.32	5.91	5.85	6.12
	5.62	6.37	5.96	5.67	6.00	6.34	6.08	5.87	5.71
Prom.	5.62	6.06	6.03	5.81	6.33	6.30	5.99	5.89	5.92
Desvest	0.06	0.51	0.19	0.12	0.35	0.05	0.09	0.05	0.21

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T	5.56	5.71	6.27	5.48	6.28	5.95	6.73	6.22	5.79
13°C	5.67	6.31	5.53	5.52	5.85	6.32	6.45	6.29	6.51
	5.62	5.57	5.92	5.93	5.89	6.36	6.78	5.96	6.33
Prom.	5.62	5.86	5.91	5.64	6.01	6.21	6.65	6.16	6.21
Desvest	0.06	0.39	0.37	0.25	0.24	0.23	0.18	0.17	0.37

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T	5.56	6.00	6.31	6.30	6.25	7.08	6.77	6.16	6.18
25°C	5.67	6.55	6.24	6.18	6.04	6.79	6.51	5.73	6.29
	5.62	5.67	5.86	5.93	6.27	6.40	6.45	6.47	6.04
Prom.	5.62	6.07	6.14	6.14	6.19	6.76	6.58	6.12	6.17
Desvest	0.06	0.44	0.24	0.19	0.13	0.34	0.17	0.37	0.13

pH

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T 4°C	2.34	2.40	2.15	2.19	2.13	2.72	2.18	2.76	2.57
	2.36	2.20	2.41	2.24	2.39	2.68	2.31	2.69	2.59
	2.39	2.25	2.38	2.27	2.34	2.46	2.31	2.71	2.53
Prom.	2.36	2.28	2.31	2.23	2.29	2.62	2.27	2.72	2.56
Desvest	0.03	0.10	0.14	0.04	0.14	0.14	0.08	0.04	0.03

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T 8°C	2.34	2.49	2.02	2.25	2.30	2.62	2.56	2.71	2.65
	2.36	2.61	2.39	2.02	2.36	2.40	2.48	2.70	2.57
	2.39	2.52	2.48	2.07	2.41	2.42	2.45	2.48	2.53
Prom.	2.36	2.54	2.30	2.11	2.36	2.48	2.50	2.63	2.58
Desvest	0.03	0.06	0.24	0.12	0.06	0.12	0.06	0.13	0.06

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T 13°C	2.34	2.48	2.38	2.18	2.32	2.61	2.17	2.52	2.53
	2.36	2.42	2.34	2.26	2.32	2.58	2.22	2.57	2.51
	2.39	2.54	2.21	2.25	2.31	2.74	2.24	2.53	2.53
Prom.	2.36	2.48	2.31	2.23	2.32	2.64	2.21	2.54	2.52
Desvest	0.03	0.06	0.09	0.04	0.01	0.09	0.04	0.03	0.01

Día	0	3	6	9	12	15	20	25	30
T 25°C	2.34	2.74	2.42	2.20	2.41	2.41	2.48	2.38	2.47
	2.36	2.62	2.45	2.29	2.51	2.61	2.51	2.46	2.50
	2.39	2.66	2.38	2.16	2.19	2.66	2.50	2.56	2.56
Prom.	2.36	2.67	2.42	2.22	2.37	2.56	2.50	2.47	2.51
Desvest	0.03	0.06	0.04	0.07	0.16	0.13	0.02	0.09	0.05

**DAÑO POR FRÍO A 8°C (DESPUÉS DE 24 HORAS)**

Día	0	6	12	18	24	30
Tratamiento	0	0	0	0.51	0	0.22
Sin cera	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0.28	0	0	0	0
Promedio	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02
Desvest	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.07

Día	0	6	12	18	24	30
Tratamiento	0	0	0	0	0	0.08
Cera	0	0	0	0	0	0
CMAM	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0.44	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
Promedio	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01
Desvest	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.03

## PORCENTAJE DE PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO A 8°C

Día	0	6	12	18	24	30
Tratamiento	0.00	2.26	4.33	5.97	7.90	10.33
Sin cera	0.00	2.49	4.74	6.49	8.46	11.04
	0.00	2.30	4.35	6.04	7.98	10.56
Promedio	0.00	2.35	4.47	6.17	8.11	10.64
Desvest	0.00	0.12	0.23	0.28	0.30	0.36

Día	0	6	12	18	24	30
Tratamiento	0.00	1.57	2.99	4.15	5.55	7.89
Cera	0.00	1.52	3.07	4.32	5.77	7.47
CMAM	0.00	1.92	3.62	4.94	6.53	8.42
Promedio	0.00	1.67	3.23	4.47	5.95	7.93
Desvest	0.00	0.22	0.34	0.42	0.51	0.48

Día	0	6	12	18	24	30
Tratamiento	0.00	1.97	3.95	5.47	7.52	9.86
Cera de la	0.00	1.99	4.25	7.35	7.62	10.03
región	0.00	1.66	3.45	5.01	6.96	9.50
Promedio	0.00	1.87	3.88	5.94	7.37	9.80
Desvest	0.00	0.19	0.40	1.24	0.36	0.27

## PORCENTAJE DE PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO A 13°C

Día	0	6	12	18	24	30
Tratamiento	0.00	2.89	5.25	6.42	10.66	13.23
Sin cera	0.00	2.92	5.25	8.95	10.81	13.60
	0.00	3.30	5.96	10.76	12.02	14.94
Promedio	0.00	3.04	5.49	8.71	11.16	13.92
Desvest	0.00	0.23	0.41	2.18	0.75	0.90

Día	0	6	12	18	24	30
Tratamiento	0.00	1.94	3.87	7.37	7.90	9.81
Cera	0.00	2.02	3.90	5.73	8.31	10.19
CMAM	0.00	2.67	4.95	5.87	9.90	12.37
Promedio	0.00	2.21	4.24	6.32	8.70	10.79
Desvest	0.00	0.40	0.62	0.91	1.06	1.38

Día	0	6	12	18	24	30
Tratamiento	0.00	2.11	4.08	6.48	8.72	11.05
Cera de la	0.00	2.08	4.02	6.36	8.57	10.95
región	0.00	2.05	4.10	6.77	9.00	11.37
Promedio	0.00	2.08	4.07	6.54	8.76	11.12
Desvest	0.00	0.03	0.04	0.21	0.22	0.22

### CAMBIO DE COLOR A 8°C

Día	0	6	12	18	24	30
Tratamiento	1.4	2.0	2.0	2.2	2.2	2.2
Sin cera	1.8	2.0	2.0	2.2	2.2	2.2
	1.0	2.0	2.0	2.0	2.2	2.2
Promedio	1.40	2.00	2.00	2.13	2.20	2.20
Desvest	0.40	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00

Día	0	6	12	18	24	30
Tratamiento	1.4	2.0	2.0	2.2	2.4	2.4
Cera	1.8	1.4	2.0	2.0	2.0	2.0
CMAM	1.0	2.0	2.2	2.2	2.4	2.4
Promedio	1.40	1.80	2.07	2.13	2.27	2.27
Desvest	0.40	0.35	0.12	0.12	0.23	0.23

Día	0	6	12	18	24	30
Tratamiento	1.4	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0
Cera de la región	1.8	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Promedio	1.40	2.00	2.07	2.07	2.07	2.07
Desvest	0.40	0.20	0.12	0.12	0.12	0.12

### CAMBIO DE COLOR A 13°C

Día	0	6	12	18	24	30
Tratamiento	1.4	2.4	2.4	2.6	3.2	3.2
Sin cera	1.8	2.0	2.0	2.4	2.8	2.8
	1.0	2.0	2.0	2.4	2.4	2.4
Promedio	1.40	2.13	2.13	2.47	2.80	2.80
Desvest	0.40	0.23	0.23	0.12	0.40	0.40

Día	0	6	12	18	24	30
Tratamiento	1.4	2.4	2.4	2.6	3.4	3.4
Cera	1.8	1.8	2.0	2.2	2.2	2.2
CMAM	1.0	1.8	2.0	2.2	2.2	2.2
Promedio	1.40	2.00	2.13	2.33	2.60	2.60
Desvest	0.40	0.35	0.23	0.23	0.69	0.69

Día	0	6	12	18	24	30
Tratamiento	1.4	2.0	2.0	2.2	2.4	2.4
Cera de la región	1.8	2.2	2.2	2.2	2.0	2.0
	1.0	1.8	2.0	2.2	2.2	2.2
Promedio	1.40	2.00	2.07	2.20	2.20	2.20
Desvest	0.40	0.20	0.12	0.00	0.20	0.20

## PORCENTAJE DE JUGO A 8°C

Día	0	18	30
Tratamiento	40.64	42.77	39.49
Sin cera	42.88	45.00	43.15
	44.30	50.78	45.40
Promedio	42.61	46.18	42.68
Desvest	1.85	4.13	2.98

Día	0	18	30
Tratamiento	40.64	43.37	41.40
Cera	42.88	43.57	44.87
CMAM	44.30	46.20	40.65
Promedio	42.61	44.38	42.31
Desvest	1.85	1.58	2.25

Día	0	18	30
Tratamiento	40.64	42.15	42.31
Cera de la región	42.88	45.41	40.84
	44.30	39.58	40.81
Promedio	42.61	42.38	41.32
Desvest	1.85	2.92	0.86

## PORCENTAJE DE JUGO A 13°C

Día	0	18	30
Tratamiento	40.64	49.08	54.02
Sin cera	42.88	44.72	52.30
	44.30	46.19	51.25
Promedio	42.61	46.66	52.52
Desvest	1.85	2.22	1.40

Día	0	18	30
Tratamiento	40.64	45.75	44.00
Cera	42.88	43.62	47.45
CMAM	44.30	40.46	51.56
Promedio	42.61	43.28	47.67
Desvest	1.85	2.66	3.78

Día	0	18	30
Tratamiento	40.64	42.52	51.24
Cera de la región	42.88	48.35	48.19
	44.30	47.19	42.56
Promedio	42.61	46.02	47.33
Desvest	1.85	3.09	4.40



### GRADOS BRIX A 8°C

Día	0	18	30
Tratamiento	8.00	8.80	8.60
Sin cera	7.53	8.73	8.80
	7.80	8.53	8.80
Promedio	7.78	8.69	8.73
Desvest	0.24	0.14	0.12

Día	0	18	30
Tratamiento	8.00	9.20	8.00
Cera	7.53	7.87	8.80
CMAM	7.80	8.20	8.60
Promedio	7.78	8.42	8.47
Desvest	0.24	0.69	0.42

Día	0	18	30
Tratamiento	8.00	8.40	8.20
Cera de la	7.53	7.80	7.73
región	7.80	7.93	8.40
Promedio	7.78	8.04	8.11
Desvest	0.24	0.32	0.34

### GRADOS BRIX A 13°C

Día	0	18	30
Tratamiento	8.00	8.27	8.73
Sin cera	7.53	8.40	8.60
	7.80	8.20	8.53
Promedio	7.78	8.29	8.62
Desvest	0.24	0.10	0.10

Día	0	18	30
Tratamiento	8.00	8.20	8.80
Cera	7.53	8.20	8.60
CMAM	7.80	8.20	8.87
Promedio	7.78	8.20	8.76
Desvest	0.24	0.00	0.14

Día	0	18	30
Tratamiento	8.00	8.00	8.87
Cera de la	7.53	8.60	8.80
región	7.80	8.00	8.53
Promedio	7.78	8.20	8.73
Desvest	0.24	0.35	0.18

### PORCENTAJE DE ÁCIDO CÍTRICO A 8°C

Día	0	18	30
Tratamiento	6.24	6.29	6.34
Sin cera	5.86	6.12	6.57
	5.96	6.04	6.51
Promedio	6.02	6.15	6.47
Desvest	0.20	0.13	0.12

Día	0	18	30
Tratamiento	6.24	6.14	5.69
Cera	5.86	6.35	6.04
CMAM	5.96	6.39	6.43
Promedio	6.02	6.29	6.05
Desvest	0.20	0.13	0.37

Día	0	18	30
Tratamiento	6.24	6.24	6.53
Cera de la región	5.86	6.10	5.92
	5.96	6.41	6.59
Promedio	6.02	6.25	6.35
Desvest	0.20	0.16	0.37

### PORCENTAJE DE ÁCIDO CÍTRICO A 13°C

Día	0	18	30
Tratamiento	6.24	6.14	7.52
Sin cera	5.86	6.22	6.30
	5.96	6.24	6.47
Promedio	6.02	6.20	6.76
Desvest	0.20	0.05	0.66

Día	0	18	30
Tratamiento	6.24	5.96	6.67
Cera	5.86	6.16	6.18
CMAM	5.96	6.53	6.46
Promedio	6.02	6.22	6.44
Desvest	0.20	0.29	0.25

Día	0	18	30
Tratamiento	6.24	6.16	6.08
Cera de la región	5.86	5.81	5.83
	5.96	6.68	5.73
Promedio	6.02	6.22	5.88
Desvest	0.20	0.44	0.18