



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y
PRODUCTIVIDAD**

FRUTICULTURA

**ALMACENAMIENTO EN CONDICIONES VARIABLES Y
PROGRAMADAS PARA CONTROL DE LA CALIDAD Y DAÑOS
POR FRIO EN TRES VARIETADES DE LIMÓN MEXICANO**

MARÍA ELENA HERNÁNDEZ PÉREZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2014

La presente tesis, titulada: “**ALMACENAMIENTO EN CONDICIONES VARIABLES Y PROGRAMADAS PARA CONTROL DE LA CALIDAD Y DAÑOS POR FRÍO EN TRES VARIETADES DE LIMÓN MEXICANO**”, realizada por la alumna María Elena Hernández Pérez, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. CRESCENCIANO SAUCEDO VÉLOZ

ASESOR



DR. MARTHA ELVA RAMÍREZ GUZMÁN

ASESOR



DR. SERGIO HUMBERTO CHÁVEZ FRANCO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo de 2014

RESUMEN

ALMACENAMIENTO EN CONDICIONES VARIABLES Y PROGRAMADAS PARA CONTROL DE LA CALIDAD Y DAÑOS POR FRÍO EN TRES VARIEDADES DE LIMÓN MEXICANO

María Elena Hernández Pérez, MC.
Colegio de Postgraduados, 2014

Se evaluaron tres variedades de limón mexicano obtenidas por variación genética natural y colecta de materiales con algunas características sobresalientes. Estas variedades se encuentran registradas ante El Catalogo Nacional de Variedades Vegetales con el nombre de: 'Colimex' (planta con espinas, alto rendimiento), 'Colimón' (frutos sin semilla) y Lise (árboles sin espinas), de las cuales se desconoce su requerimientos de frigoconservación, principalmente en cuanto a sensibilidad a daños por frío y pérdidas de la calidad. Los objetivos fueron evaluar los cambios en la calidad externa e interna de frutos de las variedades, Colimex, Colimón y Lise, cosechados en dos diferentes épocas. Para esto se cosecharon frutos de la producción de 2012. Para los frutos de la primera cosecha se establecieron tratamientos con: una emulsión de cera (14 % de sólidos), otro con temperaturas de acondicionamiento y el último sin ningún tratamiento. Para los frutos de la segunda cosecha se establecieron 3 tratamientos: cera, 1-MCP y testigo. En ambas cosechas los frutos se almacenaron por 4 y 8 días a $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ y de refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$) por dos y cuatro semanas más exposición a $22\pm 2^{\circ}\text{C}$, por 4 y 8 días. Se determinaron las variables: color, pérdida de peso, sólidos solubles, acidez titulable, relación azúcar/ácido, vitamina C, clorofila; además de, etanol y acetaldehído, y daños por frío. Se encontró que los frutos de la variedad Lise presento las mejores características de calidad interna y externa únicamente tras cuatro días a $22\pm 2^{\circ}\text{C}$, siendo limitante las pérdidas de peso y de color verde para un mayor período. Los frutos de la variedad Lise presentaron a la salida de dos semanas de almacenamiento las mejores características de calidad, con mayor color verde y contenido de ácido ascórbico, además de menores pérdidas de peso. Siendo también limitante para un prolongado tiempo de almacenamiento, la aparición de síntomas de marchitamiento.

Palabras clave: Daños por Frío, Frigoconservación

ABSTRACT

STORAGE IN VARIABLE CONDITIONS AND PROGRAMMED FOR CONTROL QUALITY AND INJURY BY CHILLING IN THREE MEXICAN LIME VARIETIES

María Elena Hernández Pérez, MC.
Colegio de Postgraduados, 2014

There were evaluated three Mexican lemon varieties obtained by natural genetic variation and materials collection with some outstanding characteristics. These varieties are registered in the National Catalog of Varieties Vegetables with the name of 'Colimex'. (plant with thorns, high yield), 'Colimón' (fruit without seeds) and 'Lise' (Trees without thorns), which is unknown its cold conservation, mainly as to sensibility to cold damages and quality losses. The aims were to evaluate the changes in the external and internal fruit quality of the varieties, 'Colimex', 'Colimón' and 'Lise', harvested in two different seasons. For this were harvested fruits in the 2012 production. In the fruits of the first harvest were set treatments with. first with a emulsion of (14 solids percent), second with temperature of conditioning and third without treatment. for the fruits of the second harvest there were established three treatments: wax, 1-MCP and control treatment. Both harvests the fruits were stored from 4 to 8 days to $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ and cold ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$) for two and four weeks more exposition to $22\pm 2^{\circ}\text{C}$, for 4 and 8 days. There were determined the variables: color, weight loss, soluble solids, titratable acidity, relationship sugar/acid, vitamin C, chlorophyll; more, ethanol and acetaldehyde, and cold damages. It was found that the 'Lise' variety fruits presented the best features of internal and external quality only after four days to $22\pm 2^{\circ}\text{C}$, being limitant the weight losses and green color for a longer period. The 'Lise' variety fruits presented at the end of two weeks of storage the best quality characteristics, with more green color and ascorbic acid content, also less weight losses. Being limitant also for a prolonged storage time, the appearance of wilt symptoms

Keywords: Chilling Injury, Cold Storage

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el financiamiento de mis estudios de maestría.

Al **Colegio de Postgraduados**, y en particular al programa de Fruticultura, por la oportunidad de realizar mis estudios.

Al **Dr. Crescenciano Saucedo Veloz**, por su apoyo, disponibilidad y sus valiosas sugerencias en este trabajo y en mis estudios.

A la **Dra. Martha Elva Ramírez Guzmán**, por su asesoría, enseñanzas y sugerencias para este trabajo.

A **Dr. Sergio Humberto Chávez Franco**, por el apoyo y aportaciones para este trabajo.

Al **Dr. Manuel Robles González**, quien proporcionó el material vegetal desarrollado en el Campo Experimental del INIFAP, localizado en Tecomán, Colima, México.

A **Iván Franco Gaytán**, por su amistad, apoyo y asesoría brindada durante la realización de ésta investigación.

DEDICATORIA

A mi padre **Estanislao Hernández** (†), por darme la vida.

A mi madre, **Ma. del Rosario Pérez**, por su apoyo en todo momento de mi vida, por sus enseñanzas y consejos. Te amo mamá.

A mis hermanos, **Francisco, Rosa Elia, Antonio, José Luis Miguel, Rosa Oralia y Paula**, por su inmenso cariño, muestras de afecto, compañía y apoyo que me brindan.

A **Michel García Ramírez**, por compartir conmigo este sueño y ayudarme en todo momento a alcanzarlo, por su interminable amor en todo momento, comprensión y apoyo.

A mi Abuela, **Anselma Moreno**, por su cariño y sabios consejos.

A mis amig@s, por compartirme su tiempo y darme palabras de aliento.

A todas aquellas personas que de alguna manera me han apoyado y ayudado a alcanzar este objetivo.

CONTENIDO

CONTENIDO	viii
INDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivos Particulares	3
2.3 Hipótesis	4
3. REVISION DE LITERATURA	5
3.1 Clasificación Botánica.....	5
3.2 Situación Nacional de Limón Mexicano	7
3.2.1 Producción	7
3.2.2 Superficie Cosechada	8
3.2.3 Rendimiento	9
3.3 Mejoramiento Genético del Limón Mexicano	9
3.4 Obtención de Nuevas Variedades de Limón Mexicano	10
3.5 Características de las Variedades ‘Colimex’, ‘Colimón’, ‘Lise’	10
3.5.1 Variedad ‘Colimex’	10
3.5.2 Variedad ‘Colimón’	11
3.5.3 Variedad ‘Lise’	11
3.6 Almacenamiento en Refrigeración	12
3.7 Fisiología Postcosecha	13
3.7.1 Respiración	13
3.7.2 Transpiración.....	14
3.8 Efectos de las Bajas Temperaturas en Frutos Cítricos	14
3.8.1 Características de DF en Frutos Cítricos.....	15
3.9 Tecnologías para la Reducción de Daños por Frío en Frutos Cítricos.....	15
3.9.1 Acondicionamiento	15
3.9.2 Aplicación de Ceras	16

3.10 Generalidades del 1-Metilciclopropeno (MCP).....	17
4. MATERIALES Y MÉTODOS	18
4.1 Material Biológico.....	18
4.1.1 Experimento 1:	18
4.1.2 Experimento 2	19
4.2 Variables Evaluadas	20
4.3 Análisis Estadístico Aplicado a los Datos.....	24
5. RESULTADOS.....	29
5.1 Experimento 1	29
5.1.1 Almacenamiento Bajo Condiciones Ambientales	29
5.2 Experimento 1	39
5.2.1 Almacenamiento Bajo Condiciones de Refrigeración.....	39
5.3 Experimento 2.....	47
5.3.1 Almacenamiento Bajo Condiciones Ambientales	47
5.4 Experimento 2.....	55
5.4.1 Almacenamiento Bajo Condiciones de Refrigeración.....	55
6. CONCLUSIONES	73
7. RECOMENDACIONES	75
8. BIBLIOGRAFIA	76

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación botánica del limón mexicano	5
Cuadro 2. Producción por tipo de limón en México (ton)	7
Cuadro 3. Principales estados productores de limón mexicano en México (ton)	8
Cuadro 4. Superficie cosechada de limón mexicano en México (has)	8
Cuadro 5. Principales estados con mayores rendimientos de limón mexicano (agrio) en México (ton/ha)	9
Cuadro 6. Resultados del análisis de varianza (P-value) para cada una de las variables analizadas en condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente.....	38
Cuadro 7. Análisis de varianza (P-value) para las variables estudiadas de los efectos principales sobre la calidad de frutos de limón mexicano, después de 8 días de almacenamiento	38
Cuadro 8. Análisis de varianza (P-value) para cada una de las variables analizada en condiciones de almacenamiento de refrigeración	46
Cuadro 9. Análisis de varianza (P-value) para las variables estudiadas de los efectos principales sobre la calidad de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas de almacenamiento	46
Cuadro 10. Análisis de varianza (P-value) para cada una de las variables analizada en condiciones de almacenamiento de temperatura ambiente	53
Cuadro 11. Análisis de varianza (P-value) para las variables estudiadas de los efectos principales sobre la calidad de frutos de limón mexicano, después 8 días de almacenamiento	54
Cuadro 12. Incidencia de daños por frío (%) en frutos de limón mexicano 'Lise', almacenados a $9\pm 1^{\circ}\text{C}$ por 4 semanas + 8 días al ambiente.	69
Cuadro 13. Incidencia de daños por frío (%) en frutos de limón mexicano 'Colimex', almacenados a $9\pm 1^{\circ}\text{C}$ por 4 semanas + 8 días al ambiente.	69
Cuadro 14. Incidencia de daños por frío (%) en frutos de limón mexicano 'Colimon', almacenados a $9\pm 1^{\circ}\text{C}$ por 4 semanas + 8 días al ambiente.	70
Cuadro 15. Análisis de varianza (P-value) para cada una de las variables analizada en condiciones de almacenamiento de refrigeración	71
Cuadro 16. Análisis de varianza (P-value) para las variables estudiadas de los efectos principales sobre la calidad de frutos de limón mexicano, después 2 semanas de almacenamiento	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	a) Sección transversal de cítricos mostrando varias partes anatómicas y b) corte longitudinal donde se muestran haces vasculares y fruto secundario	6
Figura 2.	Variedad ‘Colimex’. Árbol (izquierda) y fruto (derecha)	11
Figura 3.	Variedad ‘Colimon’. Árbol (izquierda) y fruto (derecha).....	11
Figura 4.	Variedad ‘Lise’. Árbol (izquierda) y fruto (derecha)	12
Figura 5.	Curva estándar para Vitamina C.....	23
Figura 6.	Efecto de la variedad sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	31
Figura 7.	Efecto del tratamiento postcosecha sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).	31
Figura 8.	Efecto de la variedad sobre el contenido de ácido cítrico (%) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	32
Figura 9.	Efecto del tratamiento postcosecha sobre el contenido de ácido cítrico (%) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).33	
Figura 10.	Efecto de la variedad sobre el contenido de sólidos solubles (%) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).	34
Figura 11.	Efecto de la variedad sobre la relación azúcar/ácido de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	35
Figura 12.	Efecto del tratamiento postcosecha sobre la relación azúcar/ácido de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).	35
Figura 13.	Efecto de la variedad sobre el contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL^{-1} de jugo) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	37
Figura 14.	Efecto de la variedad sobre el contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL^{-1}) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	37
Figura 15.	Efecto de la variedad sobre el cambio del índice de color de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	40
Figura 16.	Efecto de los tratamientos postcosecha sobre el cambio del índice de color de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).	40

Figura 17. Efecto de la variedad sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	41
Figura 18. Efecto de los tratamientos postcosecha sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	42
Figura 19. Efecto de la variedad sobre el contenido de sólidos solubles (%) de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	43
Figura 20. Efecto de la variedad sobre la relación azúcar/ácido de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	44
Figura 21. Efecto de la variedad sobre el contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL^{-1} de jugo) de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).	45
Figura 22. Efecto del tratamiento postcosecha sobre el contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL^{-1} de jugo) de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a temperatura de refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$). ..	45
Figura 23. Efecto de la variedad sobre el cambio del índice de color de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	47
Figura 24. Efecto de la variedad sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	48
Figura 25. Efecto de la variedad sobre el contenido de sólidos solubles (%) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).	49
Figura 26. Efecto de la variedad sobre la relación azúcar/ácido de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	50
Figura 27. Efecto de la variedad sobre el contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL^{-1} de jugo) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	51
Figura 28. Efecto de la variedad sobre el contenido de clorofila de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	52
Figura 29. Efecto de la variedad sobre el cambio de índice de color de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$)	56

Figura 30. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el cambio de índice de color de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$)	57
Figura 31. Efecto de la variedad sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	59
Figura 32. Efecto del tratamiento postcosecha sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	60
Figura 33. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	60
Figura 34. Efecto de la variedad sobre el contenido de ácido cítrico (%) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$)	62
Figura 35. Efecto del tratamiento postcosecha sobre el contenido de ácido cítrico (%) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$)	62
Figura 36. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de ácido cítrico (%) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$)	63
Figura 37. Efecto del tratamiento postcosecha sobre el contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL^{-1} de jugo) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	66
Figura 38. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL^{-1} de jugo) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$)	66

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de la producción de cítricos a nivel mundial, con fines de comercialización se cultivan dos especies de limas ácidas: Limón Mexicano o lima key [*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle] y el limón Persa (*C. latifolia* Tanaka) y el limón Italiano o verdadero (*C. limon* Burm) (Medina *et al.*, 2001), de las cuales se estima una producción de 11 millones de toneladas, siendo los principales países productores India, México, Argentina, Brasil y China (FAOSTAT, 2011). En México, la producción de las dos especies de limas ácidas se ubica en más de 2.1 millones de toneladas, siendo los principales estados productores Colima, Guerrero, Michoacán, Oaxaca y Veracruz (SIAP, 2011).

Actualmente la producción de limón mexicano se basa en una variedad comercial de pie franco, que se caracteriza por presentar una producción heterogénea, árboles con presencia de espinas, aunque adaptada a las condiciones agroclimáticas de las zonas productoras de México; además el fruto que se obtiene es pequeño, con alto contenido de semillas y de difícil manejo postcosecha, situación que provoca que la calidad del fruto se ve afectada, limitando así su comercialización. De acuerdo con Saucedo (2008), los principales factores que afectan la calidad de los frutos de limón mexicano están relacionados con sus características morfológicas de tamaño pequeño, cascara delgada y bajo contenido de ceras naturales (intra y extracuticulares), lo cual los hace altamente sensibles a daños mecánicos (heridas, golpes, deformaciones, picaduras y rozaduras), alteraciones fisiológicas (oleocelosis, rompimiento del extremo estilar y daños por frío), alta incidencia de pudriciones, y elevadas pérdidas de peso que favorecen su rápido marchitamiento.

Actualmente el mercado de cítricos requiere de nuevas variedades, no sólo para satisfacer el mercado de fruta fresca que demanda aceptable presentación, ausencia de semillas y aceptable relación azúcar/ácido; además la agroindustria requiere de jugos y aceites con mayor calidad. También se requiere la incorporación de otras características agronómicas que, ayuden a reducir las amenazas que representan

algunas enfermedades de alto impacto económico (Viloria y Grosser, 2005). En este sentido, en los últimos años en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Tecomán, Colima, México, ha venido realizado estudios sobre variación genética natural y colecta de materiales con algunas características sobresalientes, lo que se ha traducido en la obtención de tres clones sobresalientes y registrados como variedades Colimex (planta con espinas, alto rendimiento y consistencia de la producción), Colimón (frutos sin semilla) y Lise (árboles sin espinas).

La introducción de estos clones para su producción a nivel comercial es aún incipiente debido al desconocimiento de respuesta a factores relacionados con la tecnología de producción y del comportamiento fisiológico de los frutos en pre y postcosecha, así como de los requerimientos de temperatura y humedad relativa con fines de frigoconservación por diferentes periodos, su sensibilidad a daños por frío y necesidad de otras tecnologías que permitan ofrecer a los consumidores frutos con óptima calidad.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo General

- Evaluar el efecto del tratamiento con emulsión de cera, temperatura de acondicionamiento y 1-MCP (metilciclopropeno) en la vida de anaquel, tiempo de frigoconservación, control de daños por frío y mantenimiento de la calidad interna y externa, del fruto de las variedades de limón mexicano: 'Colimex', 'Colimón' y 'Lise'.

2.2 Objetivos Particulares

- Estudiar los cambios en la calidad interna y externa de 'Colimex', 'Colimón' y 'Lise', para determinar su vida de anaquel a condiciones ambientales.
- Determinar el tiempo de vida de anaquel de frutos de 'Colimex', 'Colimón' y 'Lise' en estudio tratados mediante refrigeración por diferentes periodos, con el mínimo de daños en su calidad.
- Evaluar la susceptibilidad de los frutos de 'Colimex', 'Colimón' y 'Lise' en la pérdida de la calidad externa e interna asociada a la incidencia de desórdenes fisiológicos.
- Estudiar el efecto de tratamiento con una emulsión de cera, temperaturas de acondicionamiento, y de 1-MCP (Metilciclopropeno) en la reducción de daños por frío.
- Evaluar la eficacia de una emulsión de cera en la reducción de pérdidas de peso y avance de la senescencia en los frutos de las variedades de limón mexicano en estudio.

2.3 Hipótesis

- Los frutos de las variedades de limón mexicano 'Colimex', 'Colimón' y 'Lise' con y sin tratamiento de frigoconservación tendrán el mismo comportamiento fisiológico y tiempo de vida de anaquel.
- La incidencia de desórdenes fisiológicos en frutos provenientes de las variedades Colimex, Colimón y Lise, serán iguales bajo los tratamientos de 1-MCP, encerado, temperaturas de acondicionamiento.
- El control de pérdidas de peso y avance de la senescencia de frutos tratados con emulsiones de ceras es igual en las tres variedades de limón en estudio.

3. REVISION DE LITERATURA

3.1 Clasificación Botánica

En México se producen tres especies de cítricos considerados como limones por el carácter ácido de su jugo. El Limón Mexicano (*Citrus aurantifolia*, Swingle), limón Persa (*Citrus latifolia*, Tanaka) que botánicamente pertenecen al grupo de limas ácidas además del limón verdadero o limón italiano (*Citrus limón*, Burm), que se explotan a nivel comercial y se emplean tanto para consumo en fresco como para su procesamiento industrial. (SDR, 2005).

El limón mexicano también conocido como Mexican lime, West Indian Lime, limón Gallego, Key lime, limón criollo o limón sutil, pertenece a la familia de las Rutáceas, según la siguiente clasificación (Cuadro 1):

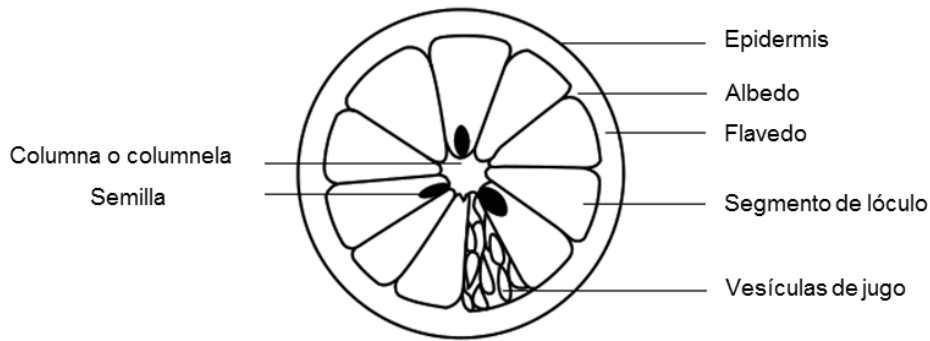
Cuadro 1. Clasificación botánica del limón mexicano

Familia.....	<i>Rutaceae</i>
Subfamilia.....	<i>Aurantioideae</i>
Tribu.....	<i>Citreas</i>
Subtribu.....	<i>Citrinas</i>
Género.....	<i>Citrus</i>
Subgénero.....	<i>Eucitrus</i>
Especie.....	<i>Aurantifolia</i>

Botánicamente a un árbol vigoroso, de porte erguido, las espinas son puntiagudas lo que dificultan la cosecha manual, follaje denso, hojas pequeñas, lanceoladas, color verde pálido. Florece todo el año, presentando de 3 a 5 flujos masivos. Tiene flores pequeñas y blancas. En estado de madurez el fruto es color verde, es pequeño, forma elíptica a semiesférica, cascara delgada, coriácea, verde claro en cosecha, pulpa verde claro, jugosa y muy ácida, contiene numerosas semillas y jugo considerablemente ácido (SDR, 2005). El fruto es una baya denominada hesperidio, anatómicamente compuesto el epicarpio que contiene a la epidermis, cutícula, y tejidos subepidérmicos, también recibe el nombre flavedo y se caracteriza por contener una

alta actividad metabólica relacionada con los cambios de color, transporte de agua, gases, y cambios relacionados con la textura. El mesocarpio o albedo constituido por tejido esponjoso (aerénquima) y el endocarpio que cubre a las vesículas con jugo (Figura 1).

a)



b)

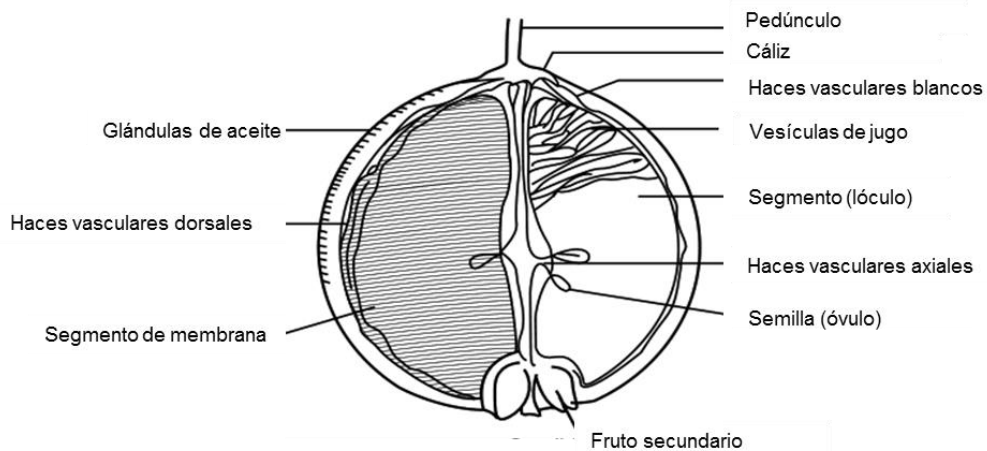


Figura 1. a) Sección trasversal de cítricos mostrando varias partes anatómicas y b) corte longitudinal donde se muestran haces vasculares y fruto secundario

El limón mexicano se cultiva en una franja que va desde el ecuador hasta los 40° latitud norte y sur; se le encuentra desarrollando bajo condiciones muy variables que van del clima tropical al subtropical, con altitudes de cero a 1,000 metros y precipitaciones de 600 a 2,000 mm anuales; siendo los climas favorables para su crecimiento y producción los cálidos con temperaturas entre 23°C a 30°C.

3.2 Situación Nacional de Limón Mexicano

3.2.1 Producción

En México se producen dos especies de limas ácidas con importancia comercial: el limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle) y limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka): De acuerdo con el SIAP (2011), el limón mexicano, por su preferencia en el mercado nacional, es el de mayor producción con un volumen de 1 041 349 toneladas; por su parte, el limón persa con una producción de 920 083 toneladas (Cuadro 2), resulta importante por su volumen de exportación de 469 707 toneladas con valor de 269 millones de dólares (FAOSTAT, 2011).

Cuadro 2. Producción por tipo de limón en México (ton)

TIPOS	2008-	2009	2010	2011	2012
Agrio (mexicano)	1,308,352	1,057,849	1,039,055	1,192,316	1,041,349
Persa	833,402	823,219	766,830	862,226	920,083

Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2013)

Los principales estados productores, de acuerdo al orden importancia incluyen: Michoacán, Colima, Oaxaca y Guerrero. Durante los últimos cinco años el promedio de producción a nivel nacional ha fluctuado en 1.1 millones de toneladas (Cuadro 3).

Es de señalar la disminución en la producción de Colima, el cual en los últimos años ha presentado un severo ataque de la enfermedad Huanglongbing (HLB), causada por una bacteria (*Candidatus Liberibacter spp.*), y que se manifiesta en un período de 2 a 6 años después de infectada la planta. Los principales síntomas que se presentan en las hojas es una coloración amarillo pálido con áreas de color verde (moteado), asimétricas; engrosamiento y aclaración de las nervaduras; hojas pequeñas y rectas. En ramas y tronco, se muestra una reducción de crecimiento y muerte de ramas, mostrando en ocasiones por debajo de la corteza lesiones necróticas. En el fruto se presentan deformaciones, reducción de tamaño, aparición de manchas verde pálido

que contrastan con la coloración normal, aborto de semillas, menor contenido de jugo con alteraciones en su composición, debido a una mayor acidez y menor contenido de azúcares confiriéndole un sabor amargo los que determina que no sean aptos para su consumo en fresco o procesamiento industrial.

Cuadro 3. Principales estados productores de limón mexicano en México (ton)

Estado	2008	2009	2010	2011	2012
Colima	626,895.8	402,124.9	362,701.1	472,874.9	342,359.6
Michoacán	421,938.8	414,502.1	432,183.4	463,389.9	473,606.4
Oaxaca	126,005.9	109,879.8	114,760.9	114,138.4	93,328.1
Guerrero	82,502.4	78,388.6	77,843.4	70,621.1	74,869.2
Otros	51,009.0	52,954.4	51,567.0	71,292.4	57,186.1
Total	1,308,351.9	1,057,849.8	1,039,055.8	1,192,316.7	1,041,349.4

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2013)

3.2.2 Superficie Cosechada

De acuerdo con el cuadro 4, en el periodo 2008-2012 Michoacán fue el estado con la mayor superficie cosechada seguido de Colima, Oaxaca y Guerrero. De los cuatro estados principales, solo Michoacán ha tenido un crecimiento anual, en tanto que Colima, Oaxaca y Guerrero ha venido experimentando inestabilidad año con año.

Cuadro 4. Superficie cosechada de limón mexicano en México (has)

Estado	2008	2009	2010	2011	2012
Michoacán	36,546.75	35,855.35	36,104.95	19,784.32	38,253.50
Colima	26,915.83	19,197.48	20,306.76	19,784.32	18,702.00
Oaxaca	11,493.50	10,285.14	10,375.94	10,265.98	8,243.51
Guerrero	7,268.27	6,858.84	6,844.50	6,849.50	6,851.50
Otros	5,712.70	5,667.30	5,538.20	6,228.22	5,707.52
Total	87,937.05	77,864.11	79,170.35	80,968.88	77,758.03

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2013)

3.2.3 Rendimiento

El rendimiento (ton/ha) de Colima supera al del resto de los estados hasta en seis toneladas por hectárea no obstante los problemas de HLB (Cuadro 5).

Cuadro 5. Principales estados con mayores rendimientos de limón mexicano (agrio) en México (ton/ha)

Estado	2008	2009	2010	2011	2012
Colima	23.29	20.95	17.86	23.9	18.31
Michoacán	11.54	11.56	11.97	12.25	12.38
Oaxaca	10.96	10.68	11.06	11.12	11.32
Guerrero	11.35	11.43	11.37	10.31	10.93

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2013)

3.3 Mejoramiento Genético del Limón Mexicano

La industria mundial de cítricos requiere de nuevas variedades, no sólo para satisfacer el mercado de fruta fresca que demanda alta calidad, ausencia de semillas y alto contenido de acidez, pero también para atender las necesidades de la industria que requiere calidad de los jugos y aceites (Viloria y Grosser, 2005).

Actualmente el cultivo de limón mexicano está siendo amenazado por enfermedades de alto impacto económico como es la tristeza de los cítricos (VTC), considerada como la enfermedad de tipo viral con la mayor importancia económica que afecta el cultivo de los cítricos en el mundo. El VTC es transmitido por injerto cuando se usan varetas infectadas al tiempo de la propagación, o bien es diseminado entre los árboles de forma muy eficiente por el pulgón café (*Toxoptera citricida* Kirkaldi) (Miranda, 2010; Hernández, 2010). Según Harms (1992), las enfermedades provocadas por virus en las plantas son especialmente problemáticas ya que además de ocasionar un serio problema económico, hacen muy difícil su control. Por lo que el desarrollo de nuevas variedades resistentes es la mejor opción, y ha sido uno de los métodos más eficientes, económicos y ambientales seguros para su control (Papu *et al.*, 1995). Sólo se cuenta con una variedad comercial, que aunque está bien adaptada a las

condiciones agroecológicas y genera buenos rendimientos, tiene el inconveniente que su fruta es relativamente pequeña y contiene semillas, lo cual le resta competitividad en el mercado.

3.4 Obtención de Nuevas Variedades de Limón Mexicano

La producción de limón mexicano se ha obtenido a partir de plantas derivadas por semilla dando lugar a árboles de “Pie Franco” con alta sensibilidad a pudrición de la raíz. Lo que dio lugar al uso de portainjertos; sin embargo, se obtuvo una producción de plantas con bajos rendimientos y calidad deficiente de fruta (tamaño pequeño y con alto contenido de semillas), alta sensibilidad al virus de la tristeza de los cítricos y al HLB.

Mediante trabajos realizados sobre colecta y variación genética natural se han obtenido las variedades ‘Colimex’, ‘Colimón’ y ‘Lise’, que son resultado de mutaciones naturales y recombinaciones naturales dando lugar a esta variación genética traducida como “Diversidad” y ahora son consideradas como variedades de limón mexicano diploide ($2n=2x=18$) (Robles-González *et al.*; 2010).

3.5 Características de las Variedades ‘Colimex’, ‘Colimón’, ‘Lise’

3.5.1 Variedad ‘Colimex’

Investigaciones realizadas por Mediana Urrutia y Robles González (2004), los árboles de esta variedad son vigorosos, con desarrollo arbustivo, que produce ramas con espinas, follaje denso, con hojas pequeñas, lanceoladas, de color verde pálido. Fruto pequeño, de forma elíptica o semiesférica de cascara delgada, coreácea, color verde claro al tiempo de cosecha. Contiene de 3 a 5 semillas. Figura (2).



Figura 2. Variedad 'Colimex'. Árbol (izquierda) y fruto (derecha)

3.5.2 Variedad 'Colimón'

Árbol vigoroso, con desarrollo arbustivo que posee ramas con espinas, follaje denso, con hojas pequeñas, lanceoladas, de color verde pálido. Fruto pequeño de forma elíptica o semiesférica, de cáscara delgada, de color verde claro al tiempo de cosecha. Puede presentar de 1 o 2 semillas. Figura (3).



Figura 3. Variedad 'Colimon'. Árbol (izquierda) y fruto (derecha)

3.5.3 Variedad 'Lise'

Se caracteriza por ser un árbol es vigoroso con desarrollo arbustivo. Sus ramas son de crecimiento erecto, carente de espinas. El follaje es denso, hojas pequeñas, lanceoladas de color verde. El fruto es pequeño de forma elíptica a semiesférica,

cáscara delgada, coriácea, de color verde claro al tiempo de cosecha. Contiene de 3 a 5 semillas, figura (4). La ausencia de picaduras por espinas y una cáscara ligeramente más gruesa mejoran la calidad física y le permite mayor porcentaje de fruta empacada y un mejor comportamiento postcosecha. Esta característica, aunque no se ha explotado, puede darle a esta variedad mayor aceptación en el mercado interno y de exportación.



Figura 4. Variedad 'Lise'. Árbol (izquierda) y fruto (derecha)

3.6 Almacenamiento en Refrigeración

El almacenamiento en frío es la tecnología más ampliamente utilizada en la conservación de frutas cítricas. Esta se basa generalmente en la aplicación de ciertas temperaturas constantes a los frutos a conservar, siempre por encima del punto crítico para poder mantener sus cualidades organolépticas y nutritivas. Para cada variedad existe una temperatura óptima de almacenamiento capaz de mantener al fruto en buenas condiciones durante un periodo máximo de almacenamiento (Mañez, 1997). Las bajas temperaturas puede disminuir sustancialmente la velocidad de muchos procesos metabólicos (respiración, producción de etileno, maduración y senescencia), además de proteger al fruto del ataque de microorganismos patógenos que conducen al deterioro y a la pérdida de la calidad (Kitinoja y Kader, 2003). Sin embargo, para algunos productos, sobre todo de origen tropical y subtropical, esta práctica de conservación provoca algunos problemas, debido a susceptibilidad que presentan estos a las bajas temperaturas.

3.7 Fisiología Postcosecha

Un aspecto fundamental en el manejo postcosecha de frutas y hortalizas en estado fresco, es que éstas continúan activas fisiológicamente aún después de cosechadas. Una vez cosechadas continúan respirando e iniciando procesos relacionados con la maduración y/o senescencia, lo que implica una serie de cambios estructurales y bioquímicos que son específicos para cada producto.

3.7.1 Respiración

La respiración es un indicador de la actividad metabólica. Es un proceso metabólico fundamental de todo ser vivo, que implica la degradación oxidativa de los productos más complejos, normalmente presentes en las células, como almidón, azúcares y ácidos orgánicos a moléculas más simples, como el dióxido de carbono y el agua, con la siguiente liberación de energía. Esta energía es indispensable para mantener el resto de las reacciones metabólicas del fruto, (Day, 1993; Kader, 2002).

Durante la respiración, la pérdida de moléculas almacenadas que representan reservas de energía en el fruto significa el aceleramiento de la senescencia conforme las reservas proporcionan energía para mantener el estatus viviente del producto se agotan (Kader, 2002). Por lo general, la velocidad de deterioro de las frutas generalmente es proporcional a la velocidad de respiración. Los cítricos poseen una intensidad respiratoria baja de las frutas generalmente es proporcional a la velocidad de respiración que se ubica en 15 a 20 mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹ a 20° C y una producción de etileno de 0.01 µL kg⁻¹h⁻¹ a la misma temperatura; en postcosecha presentan cambios relacionados con senescencia lo que favorece el deterioro de los frutos, principalmente cambios en sabor provocados por la acumulación de etanol y acetaldehído.

3.7.2 Transpiración

La transpiración es un proceso en el cual los tejidos vegetales pierden agua en forma de vapor desde las células del interior hacia la atmósfera que los rodea. La difusión de vapor de agua en cítricos se realiza tanto a través de las aperturas epidérmicas como a través de una fase acuosa líquida en la cutícula, contrariamente a los gases CO₂, O₂ y C₂H₄ cuya difusión se realiza esencialmente a través de los estomas (Ben-Yehoshua *et al.*, 1985). La transpiración es la principal causa de la pérdida de agua de los frutos ocasionando pérdidas de peso, deterioro en la apariencia (marchitamiento y arrugamiento), disminución de firmeza (ablandamiento, pérdida de turgencia), cambios en la calidad nutricional, además de una mayor susceptibilidad a determinadas alteraciones tanto fisiológicas como patológicas ((Mishra y Gamage, 2007). La pérdida de agua durante la manipulación de frutos cítricos provoca mermas de peso del orden del 5% en la comercialización directa, del 7% en la frigoconservación y de hasta del 16% en un proceso completo de conservación frigorífica y posterior comercialización (Jiménez-Cuesta *et al.*, 1997). La transpiración se produce en mayor proporción en la piel del fruto que en la pulpa, y en el hemisferio peduncular que en el estilar, por lo que la zona peripeduncular del fruto es más susceptible a la senescencia y, por tanto más proclive a las alteraciones fisiológicas (Ben-Yehoshua *et al.*, 1985).

3.8 Efectos de las Bajas Temperaturas en Frutos Cítricos

Los cítricos por su origen tropical o subtropical, como el Limón Mexicano, cuando se almacenan por debajo de ciertas temperaturas críticas se induce a la aparición de alteraciones fisiológicas denominadas Daños por Frío (Chilling Injury) que reducen significativamente la calidad de los frutos (Osorio-Mora y Zacarías, 2000; Balandran-Quintana *et al.*, 2003). Existe un amplio rango de síntomas de DF que dependen no sólo del cultivar, sino también de la temperatura y el tiempo de exposición al frío, del grado de madurez, de las características climáticas de la zona del cultivo, así como las temperatura anteriores a la cosecha (Kader, 2003; Lurie y Crisosto, 2005). Generalmente, los síntomas de DF no se manifiestan hasta que los frutos son retirados

del almacenamiento en refrigeración y son colocados a temperatura ambiente (Gross *et al.*, 2002).

3.8.1 Características de DF en Frutos Cítricos

No todos los frutos cítricos experimentan DF, depende principalmente de la variedad (Agustí, 2000). Sin embargo, para el caso de los cítricos los síntomas que se producen suelen suceder en la corteza del fruto. Las fisiopatías más comunes son: 1). El manchado o picado (*pitting*). Es el DF más frecuente, asociado al almacenamiento de los frutos cítricos a bajas temperaturas, el cual se caracteriza por la formación de depresiones más o menos redondeadas en la piel con ligera decoloración, las cuáles se oscurecen a medida que avanza el almacenamiento hacia tonalidades marrones, y en casos severos se induce a la producción de sabores y olores desagradables (Sala y Lafuente, 1999). Los cítricos más susceptibles a esta alteración son pomelos, limones, limas y tangerinas, mientras que las naranjas son las que presentan menor susceptibilidad. Entre las mandarinas, los cultivares 'Nova' y 'Fortune' son los más susceptibles (Martínez-Jávega y del Río, 1998). El escaldado se caracteriza por un oscurecimiento difuso de la piel de forma irregular y se extiende paulatinamente por toda la superficie del fruto (Martínez-Jávega, 1998).

3.9 Tecnologías para la Reducción de Daños por Frío en Frutos Cítricos

Con el objetivo de prevenir o disminuir la incidencia de DF, se han desarrollado varios métodos previas al almacenamiento en condiciones de refrigeración para reducir el daño por frío (Lurie, 1998), entre los que se encuentran el acondicionamiento, inmersión en agua caliente, empacado en atmósferas modificadas.

3.9.1 Acondicionamiento

El acondicionamiento a moderadas temperaturas previas al almacenamiento frigorífico puede aumentar la resistencia al frío. Esto podría estar relacionado en algunos frutos

con un aumento de los ácidos grasos insaturados, ácido abscísico, escualeno o poliaminas. Se ha utilizado con éxito en pomelos, limas y limones (Aung *et al.*, 1998; Martínez- Jávega *et al.*, 1997).

El acondicionamiento a altas temperaturas también reducen los DF probablemente porque se produce síntesis de proteínas, algunas de las cuales podrían modificar las propiedades de las membranas celulares proporcionando la base de la tolerancia térmica Este acondicionamiento produce además un curado de la-s heridas reduciendo las podredumbres y puede llegar a ser beneficioso para la calidad del fruto. (Martínez- Jávega, 1997). Se han obtenido buenos resultados en cítricos y mango con la inmersión previa en agua caliente, probablemente con el mismo mecanismo de acción (Lurie, 1998 y Baéz, 1997), en este tratamiento es fundamental la relación tiempo-temperatura pues se pueden producir lesiones térmicas.

3.9.2 Aplicación de Ceras

Actualmente el tipo de recubrimiento comercial empleado en la industria citrícola son ceras, recubrimientos comestibles y envolturas plásticas. Las ceras se dividen en dos grupos: El primer grupo son: “Ceras al agua” que consisten en disoluciones/dispersiones de una o más resinas y/o ceras emulsionadas. Estas ceras han ido desplazando a las del segundo grupo que son “ceras solventes” que utilizan solventes orgánicos, que conllevan peligro y contaminación medioambiental. En el caso de los cítricos, la aplicación de recubrimientos reduce la susceptibilidad a daños por frío. Sin embargo, el efecto de encerado en frutos sensibles al frío es contradictorio, la respuesta está en función de la composición de la cera y del estado fisiológico de los frutos (Martínez-Jávega, 1995). Teniendo en cuenta que la aplicación de recubrimientos afecta al intercambio gaseoso entre el fruto y la atmosfera que lo rodea, si la barrera al intercambio gaseoso es muy alta se inducirá una respiración anaerobia, con el consecuente incremento de volátiles, como etanol y acetaldehído, responsables de malos sabores.

3.10 Generalidades del 1-Metilciclopropeno (MCP)

El 1-MCP es una herramienta que se ha agregado a la lista de opciones para la ampliación de la vida útil y la calidad de los productos vegetales. Es un compuesto de fórmula C_4C_6 , se encuentra en estado físico gaseoso. Tiene la acción de bloquear el etileno. Actúa generalmente en los sitios receptores de etileno, bloqueando los efectos de fuentes externas e internas de producción de gas. Está clasificado como regulador de crecimiento, con un modo de acción inocuo para el ser humano, demostrando su efecto al retrasar la senescencia. Es efectivo en concentraciones extremadamente bajas en el rango de 5 a 50 ppb (Blankenship y Dole, 2002) Se ha mostrado su efectividad en el control de etileno en frutas y verduras, evitando la pérdida de producto por maduración prematura, desordenes fisiológicos en frutas y bulbos, y excesivo ablandamiento de la estructura de las frutas y verduras entre otros (Warner, 1999). El efecto general de 1-MCP en los productos hortofrutícolas es el de detener o retrasar la maduración de éstos. Sin embargo, la acción buscada de este compuesto sobre hortalizas como el brócoli o la lechuga, así como en algunas frutas no climatéricas, cuya maduración o senescencia no está influenciada por el etileno, sería la detención de la senescencia.

Por lo que dependiendo de las especies que están siendo tratados, el 1MCP puede tener una variedad de efectos sobre respiración, producción de etileno, la producción de volátiles, degradación de la clorofila y otros cambios de color, cambios en la membrana y proteínas, ablandamiento, acidez y azúcares (Blankenship y Dole, 2002).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Material Biológico

Para el estudio se cosecharon frutos en dos periodos de la producción 2012, para establecer dos experimentos. Las variedades cosechadas fueron: 'Colimex' (con espinas, con semilla y epicarpio delgado), 'Colimon' (con espinas, sin semilla y epicarpio delgado) y 'Lise' (sin espinas, con semilla y epicarpio grueso), las tres de árboles desarrollados en el campo experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Tecomán, Colima, México. Los frutos cosechados se colocaron en cajas de plástico perforadas de 20 kilogramos y se transportaron en un periodo de 15 horas al laboratorio de Fruticultura, en el Campus Montecillo del Colegio de Posgraduados situado en Texcoco, estado de México. Previo al establecimiento del experimento, los frutos se seleccionaron por tamaño y color para tener una muestra homogénea y sin daños, ajustada a la norma NMX-FF-087-SCF1-2001, categorías Extra y Primera: Color verde, 45% de jugo y tamaño 4 (LISE), 3 (Colimex) y 2 (Colimón).

4.1.1 Experimento 1:

Se cosecharon en el mes de mayo de 2012, 700 frutos de 'Lise', 700 de 'Colimex' y 700 de 'Colimón'. De cada variedad se formaron seis lotes de 70 frutos, constituyendo cada uno un tratamiento, siendo estos los siguientes:

Tratamiento 1: Ambiente sin cera (A_{sc})

Tratamiento 2: Ambiente con cera (A_{cc})

Tratamiento 3: Refrigeración sin acondicionamiento sin cera (R_{sasc})

Tratamiento 4: Refrigeración, sin acondicionamiento con cera (R_{sacc})

Tratamiento 5: Refrigeración con acondicionamiento sin cera (R_{casc})

Tratamiento 6: Refrigeración con acondicionamiento con cera (R_{cacc})

4.1.2 Experimento 2

Se cosecharon en el mes de julio de 2012, un total de 640 frutos por variedad, estableciendo en cada una de estas también seis tratamientos, con 50 frutos para el tratamiento 1 y 2, y 80 para los tratamientos restantes, siendo estos los siguientes:

Tratamiento 1: Ambiente sin cera (A_{sc})

Tratamiento 2: Ambiente con cera (A_{cc})

Tratamiento 3: Ambiente con 1-MCP (A_{c1MCP})

Tratamiento 4: Refrigeración sin cera (R_{sc})

Tratamiento 5: Refrigeración con cera (R_{cc})

Tratamiento 6: Refrigeración con 1-MCP (R_{c1MCP})

Las condiciones de almacenamiento fueron: Ambiente $22\pm 2^{\circ}\text{C}$; 50 ± 5 % de humedad relativa), en ambos experimentos por ocho días. Refrigeración $9\pm 1^{\circ}\text{C}$; 80-85% de humedad relativa, por dos semanas (Experimento I) y dos y cuatro semanas (Experimento II), considerando además tras cada periodo de refrigeración la exposición a la temperatura ambiente por 8 días.

Para el tratamiento de encerado se utilizó una emulsión comercial con 14% de sólidos, la cual se aplicó por aspersion y se dejó secar al ambiente. El tratamiento de acondicionamiento consistió en la exposición de los frutos a una temperatura de 17°C / 3 días. Para el tratamiento con 1-metilciclopropeno (1-MCP) se utilizó el compuesto SmartFresh (14 % 1-MCP), los frutos se colocaron en contenedores con volumen de 0.125 m^3 a 20°C durante 8 horas; el reactivo fue disuelto en agua a 40°C , utilizando 1 g de reactivo en 50 mL de agua para establecer una dosis de 500 nL L^{-1} .

Las variables evaluadas fueron: Color externo, pérdidas de peso, sólidos solubles, concentración de ácido cítrico y ascórbico, relación azúcar/ácido, contenido de clorofila, y de etanol y acetaldehído, tanto para los tratamientos al ambiente como de refrigeración. Además se determinó, para los frutos en refrigeración, presencia de

daños por frío. Estas variables se determinaron al inicio del experimento (día 0), 4 y 8 días y en su caso a la salida de refrigeración, y a los 4 y 8 días al ambiente.

4.2 Variables Evaluadas

Color externo. Esta variable se determinó utilizando un colorímetro de reflexión Hunter Lab, modelo D-25A, óptico sensor, Reston, Virginia, USA. Se aplicó la escala CIEL*a*b*, el cual indica la lectura para determinar los tres atributos de color que son: Luminosidad (L*), Cromo (b*) y el ángulo de tono (a*), que es la proporción de rojo, amarillo, verde o azul, respectivamente (Hutchings, 1999), correspondiendo el 0° al rojo, 90° al amarillo, 180° al verde y 270° al azul (Mc Guire, 1992). Con los datos obtenidos del colorímetro se calculó el Índice de Color (IC) para cítricos ($1000*a$) / ($b*L$) propuesto por Jiménez-Cuesta *et al* (1981), según la siguiente ecuación:

$$IC = (1000*a) / (b*L)$$

Se midió en 10 frutos por tratamiento, obteniendo los datos, en los mismos frutos. Al inicio del experimento, y a los 4 y 8 días de almacenamiento al ambiente. En el caso de frigoconservación se determinaron al inicio del experimento, a la salida de refrigeración y después de ser transferidos a temperatura ambiente a los 4 y 8 días.

Pérdida de peso. Para evaluar esta variable se marcaron 10 frutos por tratamiento, a los cuales se les midió el peso fresco con una balanza digital Modelo EY-2200A (MFD BY A&D CO, LTD, Tokio, Japón). Las medidas se realizaron, en los mismos frutos, al inicio del experimento, y a los 4 y 8 días al ambiente, en los de frigoconservación fue al inicio, salida de refrigeración y después de transferir a la temperatura ambiente, a los 4 y 8 días. Los datos se reportaron como pérdidas de peso en porcentaje (% PP) y para lo cual se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ pérdida de peso} = \left(\frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \right) * 100$$

Acidez titulable (% ácido cítrico). Se determinó de acuerdo al método de la acidez titulable descrita por la A.O.A.C (1988). Para esto, se tomó una muestra de 2 mL de jugo a los que se les adicionaron cuatro gotas de fenoftaleina como indicador y se tituló con (NaOH) 0.3125 N. Esta determinación se realizó en una muestra de tres repeticiones por tratamiento y tres frutos por repetición. Esta determinación se realizó al inicio del experimento, y a los 4 y 8 días al ambiente; en los de frigoconservación fue al inicio, salida de refrigeración y después de transferir a la temperatura ambiente, a los 4 y 8 días. Para la obtención del contenido de ácido cítrico ((%), se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de ácido cítrico} = \left(\frac{(mLNaOH \text{ gastados})(NNaOH)(Meq)(100)}{aliquota} \right)$$

Dónde:

N: Normalidad de NaOH (3125)

ml de NaOH= ml de NaOH gastados durante la titulación

Meq: Mili equivalentes del ácido que se encuentra en mayor proporción (ácido cítrico = 0.064)

Sólidos Solubles Totales (°Brix). Para la determinación del contenido de sólidos solubles totales, reportado como °Brix, se aplicó el método descrito por la AOAC (1988). Para esto se utilizó un refractómetro digital modelo ATAGO DEC 3412-10, ATAGO, CO, LTD Pr-100, en el que se colocaron gotas de jugo, realizando la lectura directamente. Las evaluaciones se realizaron en una muestra de tres repeticiones por tratamiento y tres frutos por repetición, al inicio del experimento, y a los 4 y 8 días al ambiente; en los de frigoconservación fue al inicio, salida de refrigeración y después de transferir a la temperatura ambiente, a los 4 y 8 días. A los valores del contenido de SST se les realizó corrección por acidez y temperatura.

Relación azúcar/ácido. Con los valores del contenido de ácido cítrico y °Brix se calculó la relación °Brix/% ácido cítrico, la cual se reportó como relación azúcar/ácido.

Daños por frío (DF). Se determinó de manera visual en frutos de limón mexicano, por variedad y tratamiento, evaluando únicamente la presencia o ausencia de daños, y en el caso de daños, se aplicó la siguiente escala:

Fruto Sano: Aquellos que no presenten daño

Daño Ligero: Manchado disperso menor al 10% de la superficie del fruto

Daño Moderado: Manchas compactas en no más del 10 al 20% de la superficie del fruto

Daño Severo: Manchas extendidas y oscuras en más del 20% de la superficie del frutos

Etanol y acetaldehído. La metodología que se utilizó fue la de espacio de cabeza propuesta por Davis y Chace (1969). Para esto se midieron 5 mL del jugo de tres frutos por repetición (tres repeticiones por tratamiento) y se colocaron en viales de 25 mL, los cuales se sellaron herméticamente. Posteriormente se incubaron en baño maría a 32° C/10 min; se agitaron por 5 segundos. Del espacio de cabeza del vial, con jeringa para gases se tomó 1 mL de gas y se inyectó en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard modelo. 5890 II. Agilent Technologies, USA. Las temperaturas de operación fueron de 170°C en la columna (inyector inlet), 180°C en el Detector A o TCD (Detector de Conductividad Térmica), 180°C en el Detector B o FID (Detector de Ionización de Flama) y 150°C en el Horno. Previamente se prepararon estándares conteniendo 5 mL de solución con 1.57 mg 100⁻¹ de acetaldehído más 118.4 mg 100⁻¹ de etanol, de los cuales también se tomó 1 mL de la atmósfera del espacio de cabeza y se inyectó al cromatógrafo de gases. Las evaluaciones se al inicio del experimento, y a los 4 y 8 días al ambiente; en los de frigoconservación fue al inicio, salida de refrigeración y después de transferir a la temperatura ambiente, a los 4 y 8 días. Los datos se expresaron como mg 100⁻¹ de etanol o acetaldehídos.

Contenido de Vitamina C. Se determinó de acuerdo al método de Tillman descrito por la A.O.A.C (1984), el cual se basa en la oxidación de 2,6-dicloroindofenol y se utiliza ácido oxálico como solución extractora. Para esto se mezcló 1 mL de jugo con 10 mL de ácido oxálico (0.5%) y de la mezcla se tomaron 5 mL los cuales se titularon con

una solución de 2,6-diclorofenolindofenol (0.02%) Adicionalmente se preparó una curva patrón de ácido ascórbico con concentraciones conocidas (Figura 5). Las evaluaciones se realizaron en una muestra de tres repeticiones por tratamiento y tres frutos por repetición, al inicio del experimento, y a los 4 y 8 días al ambiente; en los de frigoconservación fue al inicio, salida de refrigeración y después de transferir a la temperatura ambiente, a los 4 y 8 días. Los datos se reportaron como mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de Jugo.

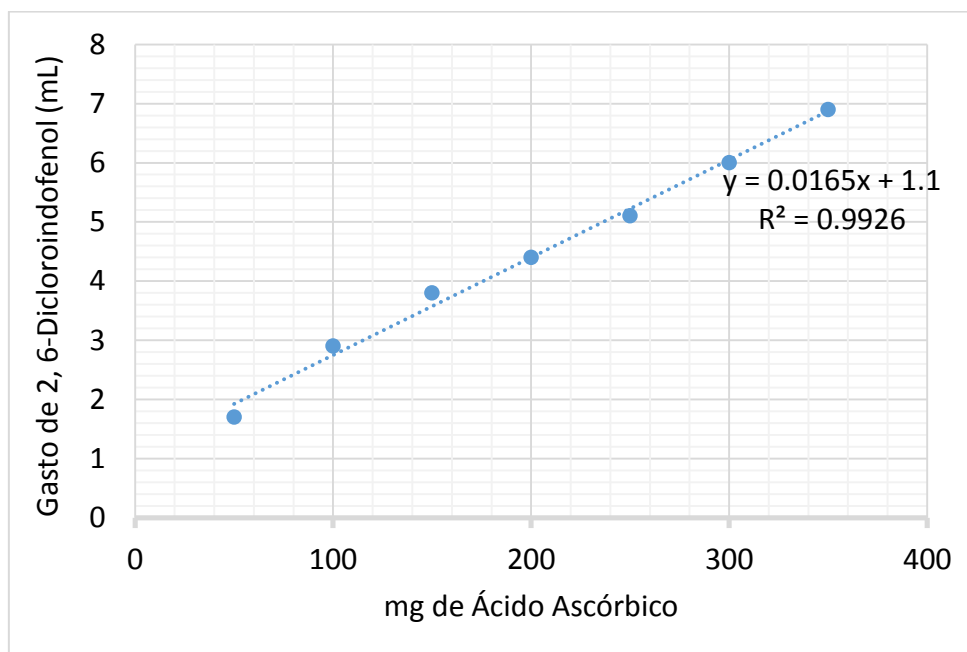


Figura 5. Curva estándar para Vitamina C

La ecuación resultante es la siguiente;

$$Y=mx+b$$

$$Y=0.0165X+1.1$$

Donde;

$$Y=\text{mL de 2,6-Dicloroindofenol}$$

$$X=\mu\text{g de ácido ascórbico}$$

Es necesario despejar la ecuación para obtener el contenido de ácido ascórbico de las muestras

$$X=(Y-1.1)/0.0165 \mu\text{g de ácido ascórbico} = (\text{mL de 2,6 Dicloroindofenol}-1.1)/0.0165$$

Contenido de Clorofila. Para la extracción de clorofila se utilizó el método AOAC (1990). De los frutos se pesaron 2 gramos del epicarpio finamente picado, se agregaron 10 mL de acetona (solución extractora) y se dejaron en la oscuridad durante 48 horas. Posteriormente la mezcla se filtró y se tomó una muestra a la cual se le midió la absorbancia a 645 y 663 nm de longitud de onda en un espectrofotómetro Spectronic 20 Bausch & Lomb, utilizando acetona como blanco. Las evaluaciones se realizaron en una muestra de tres repeticiones por tratamiento y tres frutos por repetición, al inicio del experimento, y a los 4 y 8 días al ambiente; en los de frigoconservación fue al inicio, salida de refrigeración y después de transferir a la temperatura ambiente, a los 4 y 8 días. Los datos se reportaron como $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$, aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Clorofila total (mg/L)} = 8.2 (A_{663}) + (A_{645})$$

$$\text{Clorofila a (mg/L)} = 12.7 (A_{663}) - 2.59 (A_{645})$$

$$\text{Clorofila b (mg/L)} = 22.9 (A_{645}) - 4.68 (A_{663})$$

$$\text{Concentración (mg/100g)} = \frac{c * v * 100}{1000 * P}$$

Dónde:

C=concentración (mg/100)

V=volumen aforado (mL)

P=peso de la muestra

1000=factor de conversión de mg/mL a mg/g

4.3 Análisis Estadístico Aplicado a los Datos

Se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables estudiadas con $p < 0.05$, mediante un paquete SAS® para Windows versión 9.1.3. Para el análisis del experimento uno, a temperatura ambiente ($22 \pm 2^\circ\text{C}$) se utilizó un diseño factorial con medidas repetidas de $3 \times 2 \times 3$, donde los factores y sus niveles fueron: variedad (Colimón, Colimex, Lise), tratamiento postcosecha (Con Cera, Sin Cera), los cuales fueron evaluados a través del tiempo (0, 4, 8 días); con un tamaño de muestra de 10 limones para las variables respuesta: color y % de pérdida de peso; para acidez, sólidos solubles,

relación azúcar/ácido y vitamina C se utilizaron 3 limones como unidad experimental, con tres repeticiones. Para el análisis de las muestras en condiciones de refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$) del experimento uno, se utilizó un diseño factorial con medidas repetidas de $3*4*3$, donde los factores y sus niveles fueron: variedad (Colimón, Colimex, Lise), tratamiento postcosecha (Sin Acondicionamiento Sin Cera, Sin Acondicionamiento Con Cera, Acondicionamiento Sin Cera, Acondicionamiento Con Cera), los cuales fueron evaluados a través del tiempo (0, 4, 8 días); con un tamaño de muestra de 10 limones para las variables respuesta: color y % de pérdida de peso; para acidez, sólidos solubles, relación azúcar/ácido con de 3 frutos como unidad experimental y tres repeticiones.

Para el análisis de las muestras del experimento dos en condiciones de temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$), se utilizó un diseño factorial con medidas repetidas de $3*3*3$, donde los factores y sus niveles fueron: variedad (Colimón, Colimex, Lise), tratamiento postcosecha (Con Cera, Sin Cera, 1-MCP), los cuales fueron evaluados a través del tiempo (0, 4, 8 días); para los frutos en refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), se utilizó un factorial con medidas repetidas de $3*2*3*3$, considerando otro factor y sus niveles siendo éste el tiempo de almacenamiento (2 y 4 semanas); en ambas condiciones se tomó un tamaño de muestra de 10 limones para las variables respuesta: color y % de pérdida de peso; para acidez, sólidos solubles, relación azúcar/ácido, vitamina C, clorofila, etanol y acetaldehído de 3 limones como unidad experimental.

Los modelos estadísticos para cada una de las variables estudiadas de los experimentos uno y dos, fueron los siguientes:

Para el experimento uno (cosecha uno) a temperatura ambiente (22±2°C), se utilizó un diseño factorial con medidas repetidas de 3*2*3, donde el modelo asociado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + V_i + TP_j + (V * TP)_{ij} + TE_k + (V * TE)_{ij} + (TP * TE)_{jk} + (V * TP * TE)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl}	Valor de la respuesta; índice de color, % de pérdida de peso, sólidos solubles, acidez titulable, relación azúcar/ácido, vitamina C.
μ	Promedio de índice de color, % de pérdida de peso, sólidos solubles, acidez titulable, relación azúcar/ácido, vitamina C.
V_i	Efecto de la i-ésima variedad, i='Colimex', 'Colimón', 'Lise'.
TP_j	Efecto del j-ésimo tratamiento postcosecha, j=Sin Cera, con Cera.
$(V * TP)_{ij}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el j-ésimo tratamiento postcosecha.
TE_k	Efecto del k-ésimo tiempo de evaluación, k=0,4.8 días.
$(V * TE)_{ij}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el k-ésimo tiempo de evaluación.
$(TP * TE)_{jk}$	Efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento postcosecha y el k-ésimo tiempo de evaluación.
$(V * TP * TE)_{ijk}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad, el j-ésimo tratamiento postcosecha y k-ésimo tiempo de evaluación.
ε_{ijk}	Error experimental $\varepsilon_{ijk} \sim IIN(0, \sigma^2)$.

Para el experimento uno (cosecha uno) a refrigeración (9±1°C), se utilizó un diseño factorial con medidas repetidas de 3*4*3, donde el modelo asociado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + V_i + TP_j + (V * TP)_{ij} + TE_k + (V * TE)_{ij} + (TP * TE)_{jk} + (V * TP * TE)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl}	Valor de la respuesta; índice de color, % de pérdida de peso, sólidos solubles, acidez titulable, relación azúcar/ácido, vitamina C
μ	Promedio de índice de color% de pérdida de peso, sólidos solubles, acidez titulable, relación azúcar/ácido, vitamina C
V_i	Efecto de la i-ésima variedad, i='Colimex', 'Colimón', 'Lise'.
TP_j	Efecto del j-ésimo tratamiento postcosecha, j=Sin Cera, con Cera.

$(V * TP)_{ij}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el j-ésimo tratamiento postcosecha.
TE_k	Efecto del k-ésimo tiempo de evaluación, k=0,4.8 días.
$(V * TE)_{ij}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el k-ésimo tiempo de evaluación.
$(TP * TE)_{jk}$	Efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento postcosecha y el k-ésimo tiempo de evaluación.
$(V * TP * TE)_{ijk}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad, el j-ésimo tratamiento postcosecha y k-ésimo tiempo de evaluación.
ε_{ijk}	Error experimental $\varepsilon_{ijk} \sim IIN(0, \sigma^2)$.

Para el experimento dos (cosecha dos) a temperatura ambiente ($22 \pm 2^\circ\text{C}$), se utilizó un diseño factorial con medidas repetidas de $3 \times 3 \times 3$, donde el modelo asociado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + V_i + TP_j + (V * TP)_{ij} + TE_k + (V * TE)_{ij} + (TP * TE)_{jk} + (V * TP * TE)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl}	Valor de la respuesta; índice de color, % de pérdida de peso, sólidos solubles, acidez titulable, relación azúcar/ácido, vitamina C, clorofila, acetaldehído.
μ	Promedio de índice de color, % de pérdida de peso, sólidos solubles, acidez titulable, relación azúcar/ácido, vitamina C, clorofila, acetaldehído.
V_i	Efecto de la i-ésima variedad, i='Colimex', 'Colimón', 'Lise'.
TP_j	Efecto del j-ésimo tratamiento postcosecha, j=Sin Cera, con Cera, 1-MCP.
$(V * TP)_{ij}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el j-ésimo tratamiento postcosecha.
TE_k	Efecto del k-ésimo tiempo de evaluación, k=0,4.8 días.
$(V * TE)_{ij}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el k-ésimo tiempo de evaluación.
$(TP * TE)_{jk}$	Efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento postcosecha y el k-ésimo tiempo de evaluación.
$(V * TP * TE)_{ijk}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad, el j-ésimo tratamiento postcosecha y k-ésimo tiempo de evaluación.
ε_{ijk}	Error experimental $\varepsilon_{ijk} \sim IIN(0, \sigma^2)$.

Para el experimento dos (cosecha dos) a refrigeración ($9\pm 1^\circ\text{C}$), se utilizó un diseño factorial con medidas repetidas de $3*3*3$, donde el modelo asociado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + TP_j + (V * TP)_{ij} + TA_k + (V * TA)_{ik} + (TP * TA)_{jk} + (V * TP * TA)_{ijk} + TE_l + (V * TE)_{il} + (TP * TE)_{jl} + (V * TP * TE)_{ijl} + (TA * TE)_{kl} + (V * TA * TE)_{jk} + (TP * TA * TE)_{jkl} + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde:

Y_{ijkl}	Valor de la respuesta; índice de color, % de pérdida de peso, sólidos solubles, acidez titulable, relación azúcar/ácido, vitamina C, clorofila, acetaldehído
μ	Promedio de índice de color, % de pérdida de peso, sólidos solubles acidez titulable, relación azúcar/ácido, vitamina C, clorofila, acetaldehído.
V_i	Efecto de la i-ésima variedad, i='Colimex', 'Colimón', 'Lise'.
TP_j	Efecto del j-ésimo tratamiento postcosecha, j=Sin Cera, con Cera, 1-MCP.
$(V * TP)_{ij}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el j-ésimo tratamiento postcosecha.
TA_k	Efecto del i-ésimo tiempo de almacenamiento, k=2, 4 semanas.
$(V * TA)_{ik}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el k-ésimo tiempo de almacenamiento.
$(TP * TA)_{jk}$	Efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento postcosecha y el k-ésimo tiempo de almacenamiento.
$(V * TP * TA)_{ijk}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad, el j-ésimo tratamiento postcosecha y k-ésimo tiempo de almacenamiento.
TE_l	Efecto del k-ésimo tiempo de evaluación, k=0,4.8 días.
$(V * TE)_{il}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el l-ésimo tiempo de evaluación.
$(TP * TE)_{jl}$	Efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento postcosecha y el k-ésimo tiempo de evaluación.
$(V * TP * TE)_{ijl}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad, el j-ésimo tratamiento postcosecha y el l-ésimo tiempo de evaluación.
$(TA * TE)_{kl}$	Efecto de la interacción entre el k-ésimo tiempo de almacenamiento y el l-ésimo tiempo de evaluación
$(V * TA * TE)_{jk}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad, el j-ésimo tratamiento postcosecha y l-ésimo tiempo de evaluación.
$(TP * TA * TE)_{jkl}$	Efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento postcosecha, el k-ésimo tiempo de almacenamiento y l-ésimo tiempo de evaluación.
ε_{ijk}	Error experimental $\varepsilon_{ijk} \sim \text{IIN}(0, \sigma^2)$.

5. RESULTADOS

5.1 Experimento 1

5.1.1 Almacenamiento Bajo Condiciones Ambientales

Para la primera etapa del experimento a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$), se presentan los resultados de varianza (Cuadro 6) de un diseño Factorial con Mediciones Repetidas aplicado a las variables evaluadas para el efecto de los tratamientos simples y de las interacciones. En el Cuadro 7, se muestra la diferencia significativa entre los niveles de cada factor, donde es importante destacar que letras iguales quiere decir que no hay diferencia significativa en variedad, tratamiento postcosecha o a través del tiempo.

Índice de Color

De acuerdo con los resultados obtenidos de la variable color, no se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) en los factores de variedad y tratamiento postcosecha, así como en las interacciones variedad*tratamiento postcosecha, tratamiento postcosecha*tiempo de evaluación y variedad*tratamiento postcosecha*tiempo de evaluación, durante el almacenamiento de los frutos de limón a $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ por ocho días; ésta respuesta pone de manifiesto que las tres variedades disminuyeron su concentración de clorofila en la misma proporción y además la cera aplicada no resultó efectiva en retardar la hidrólisis de este pigmento. Sin embargo, diferencias estadísticas significativas se presentaron a través del tiempo de evaluación o almacenamiento, en cuyo caso los frutos tendieron a disminuir su tonalidad verde conforme el almacenamiento se prolongó, pasando el índice de color de -13.52 al inicio del almacenamiento hasta -9.60 tras ocho días al ambiente (Cuadro 7).; esto como respuesta a la degradación de clorofila relacionada con el fenómeno de senescencia que presentan los frutos de limón en postcosecha, tal como ha sido reportado por (Guardiola *et al.*, 1981). Es de señalar que a través del tiempo de

evaluación, la variedad 'Lise' presentó el índice de color menos negativo tras ocho días de almacenamiento, siendo por consiguiente de tonalidad más amarilla con relación a las variedades Colimex y Colimón. De acuerdo con Artés-Hernández y Artés (2008), en postcosecha los cítricos presentan una biosíntesis de pequeñas cantidades de etileno (C_2H_4), lo que favorece el proceso de senescencia, provocando un aumento en la actividad respiratoria y favoreciendo la pérdida de clorofila o desverdización.

Pérdida de Peso

De acuerdo con el análisis de varianza aplicado, se presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) en las pérdidas de peso (Cuadro 6) por efecto de la variedad, tratamiento y su interacción, así como por el tiempo de evaluación y su interacción con la variedad. Esta respuesta permite asumir que entre variedades se presentan diferencias en pérdidas de peso, siendo 'Lise' y 'Colimón' las que alcanzaron las mayores pérdidas con 9.32 % y 9.09 % tras ocho días de almacenamiento a $22 \pm 2^\circ C$, correspondiendo a 'Colimex' un 7.86 % (Cuadro 7, Figura 6). Con respecto a los tratamientos aplicados, hubo efecto con la aplicación de cera, observándose en la Figura 7 que los frutos con este tratamiento presentaron menor pérdida de peso, en promedio 8.22 % y los no encerados un 9.29 %. De acuerdo con Ben-Yehoshua (1985), señaló que al aplicar recubrimientos a base de ceras en frutos cítricos se limita las pérdidas de agua por transpiración. Con relación a la evaluación a través del tiempo, las pérdidas de peso alcanzaron 5.79 % y 11.72 % a los cuatro y ocho días. De acuerdo con Saucedo y Medina (2008), un límite crítico para presentar síntomas de marchitamiento es de 5-6 %, lo que sugiere que con fines de calidad en cuanto a apariencia externa, los frutos de las tres variedades no deben almacenarse por más de cuatro días $22 \pm 2^\circ C$, en comparación a los tratamientos sin cubierta. Como era de esperarse la evolución de la pérdida fisiológica de peso se presentó, de acuerdo a la interacción variedad*tratamiento postcosecha, quien presentó la menor pérdida de peso fue 'Colimex' con cera perdiendo en promedio un 7.52 % al final de la evaluación, respecto a 'Colimón' sin cera quien perdió mayor porcentaje de peso. 'Colimón' fue quien presentó las menores pérdidas de peso a los 8 días, y la

aplicación de cera contribuyó a la disminución de dichas pérdidas al finalizar el tiempo de evaluación.

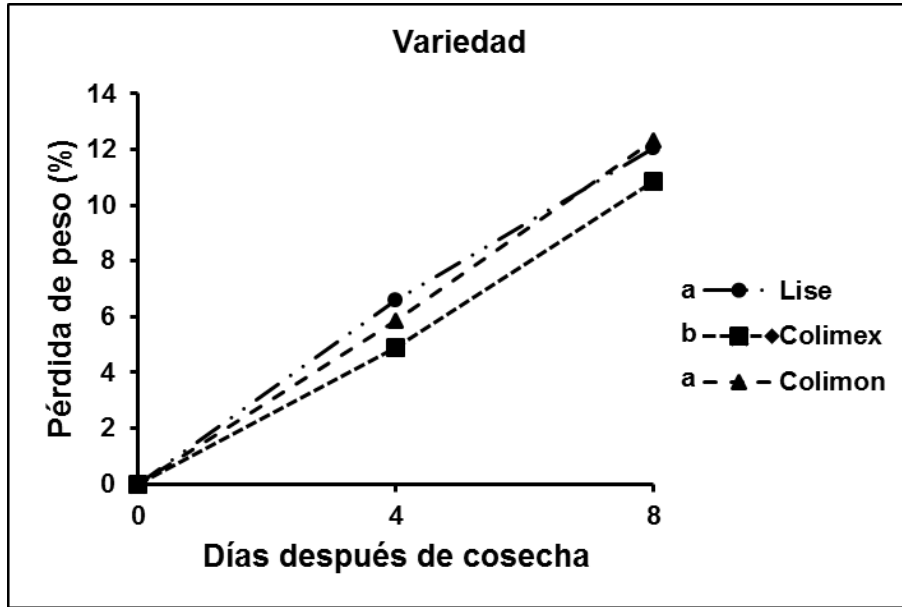


Figura 6. Efecto de la variedad sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).

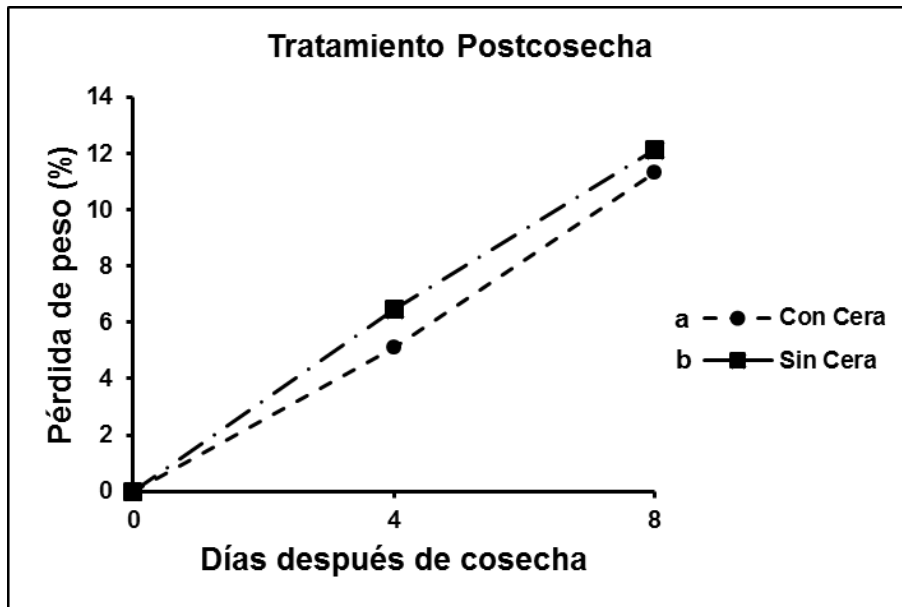


Figura 7. Efecto del tratamiento postcosecha sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Acidez Titulable

De acuerdo con los resultados presentados en los Cuadros 6 y 7, el contenido de ácido cítrico, presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) a través del tiempo por efecto de la variedad (Figura 8), siendo 'Lise' el de menor contenido con 7.98 %, respecto a 'Colimex' y 'Colimón' con 8.42 % y 8.23 %, respectivamente. El tratamiento con cera, mantuvo de manera altamente significativa ($p < 0.01$), un mayor contenido de ácido cítrico (8.61 %), con relación a los no encerados (7.80 %) después de ocho días de almacenamiento (Figura 9), lo que sugiere un efecto de retardo en la pérdida de este ácido, impuesta por el recubrimiento de cera al reducir la actividad metabólica y su utilización como sustrato respiratorio o interconversión a otros compuestos (Cuquerella *et al.*, 2004). Se observó que la evaluación a través del tiempo resultó altamente significativo ($p < 0.01$), manifestando un aumento en la concentración de ácido cítrico al prolongarse el tiempo de almacenamiento, debido a un efecto de concentración al presentarse mayores pérdidas de agua por transpiración (Echeverría e Ismail, 1987). Se detectaron diferencias significativas en la interacción de tratamiento postcosecha*tiempo de evaluación, encontrando que la mejor combinación fue para aquellos frutos que se le aplicó cera alcanzando a mantener un 10.94 % para el día 8.

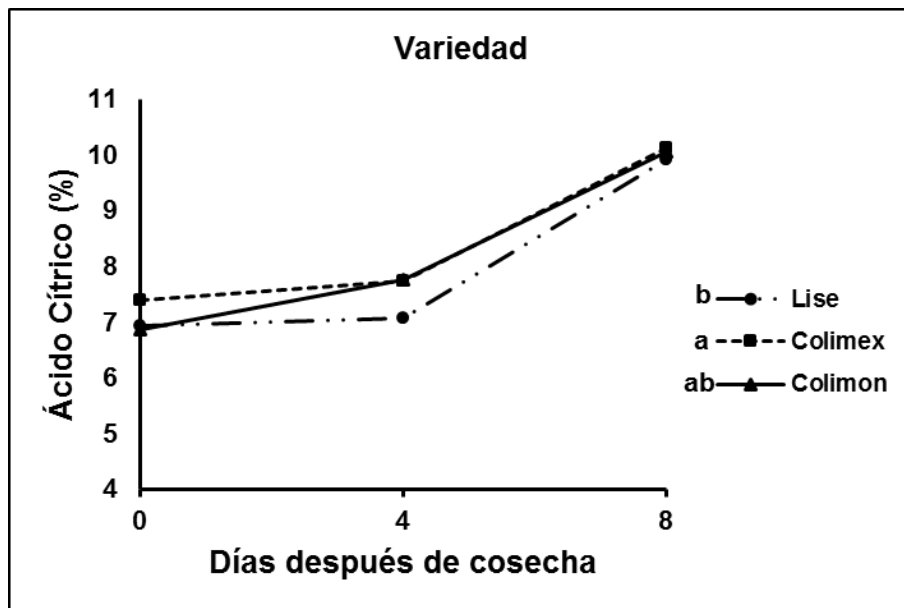


Figura 8. Efecto de la variedad sobre el contenido de ácido cítrico (%) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22 \pm 2^\circ\text{C}$).

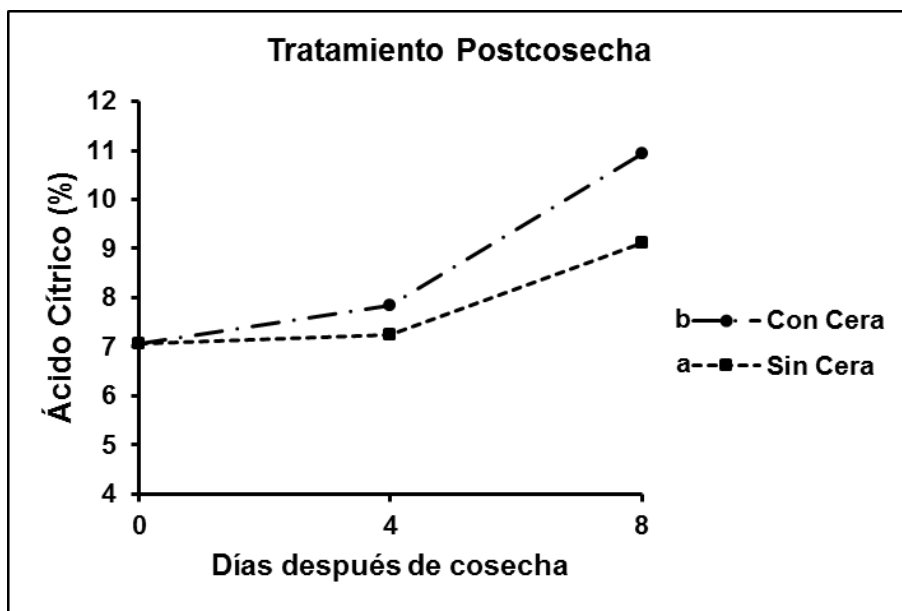


Figura 9. Efecto del tratamiento postcosecha sobre el contenido de ácido cítrico (%) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Sólidos Solubles Totales

En lo que se refiere a los cambios en el contenido de sólidos solubles (Cuadro 6), los resultados revelaron diferencia estadística significativa ($p < 0.01$) entre variedades durante el tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente, en cuyo caso 'Lise' presentó una mayor acumulación de sólidos solubles de 9.82 % en relación a 'Colimex' y 'Colimón', 9.57 % y 9.63 %, respectivamente, encontrando la mayor acumulación en el día cuatro (Figura 10). No se presentaron diferencias estadísticas respecto a los frutos con y sin cera, y entre la interacción del tratamiento postcosecha*variedad. A través del tiempo, se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.01$) que mostraron un aumento en el % de sólidos solubles conforme se prolongó el tiempo de almacenamiento (Cuadro 7), comportamiento relacionado con un efecto de concentración del jugo celular debido a las pérdidas de agua por transpiración, (Echeverría e Ismail, 1987).

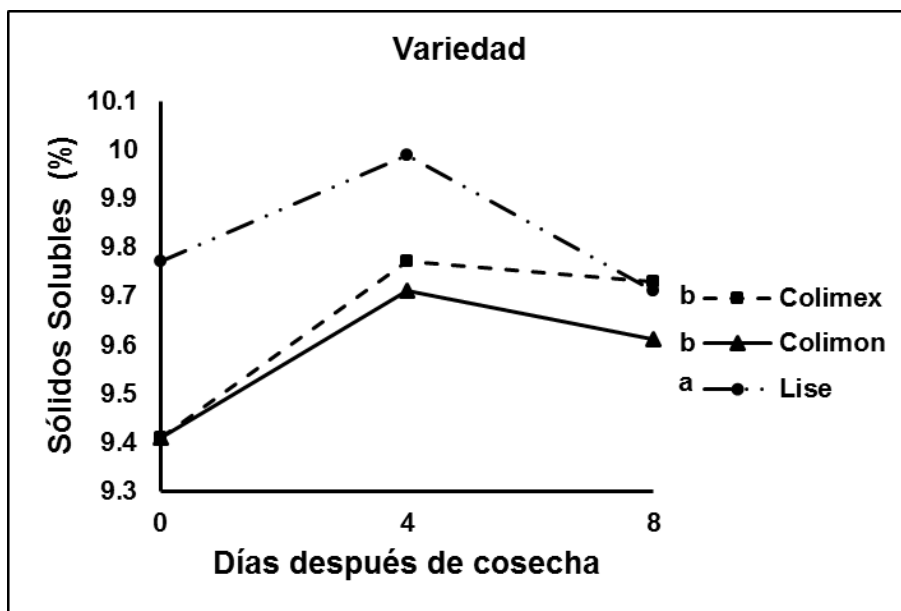


Figura 10. Efecto de la variedad sobre el contenido de sólidos solubles (%) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Relación °Bx / % Ácido Cítrico

El balance del % sólidos solubles /% ácido cítrico, medido por relación °Brix / % ácido cítrico, es un indicador relacionado con el sabor del fruto (Burton, 1992). De acuerdo con los resultados obtenidos, dicha relación se comportó estadísticamente igual a lo presentado por la acidez titulable y sólidos solubles totales, siendo por lo tanto dicho balance mayor en la variedad Lise (1.27) y en frutos encerados (Cuadro 7); además de que los frutos almacenados por cuatro días mantienen un balance similar al del inicio del experimento. En lo que se refiere a la combinación de variedad*tiempo de evaluación, en el día 8 se alcanzó 0.97, 0.96 y 0.98 para 'Colimex', 'Colimón' y 'Lise', respectivamente (Figura 11). Se encontró diferencia significativa ($p < 0.01$) para el tratamiento postcosecha, encontrando una mayor relación en aquellos frutos sin cera (Figura 12). Las interacciones que mostraron significancia fue la variedad*tiempo de evaluación, donde 'Lise' en el día 8 presentó la mayor relación de % sólidos solubles / % ácido cítrico alcanzando un valor de 0.98, así también el tratamiento postcosecha*tiempo de evaluación mostró significancia encontrando que los frutos sin cera en el día 8 alcanzaron un valor de 1.06.

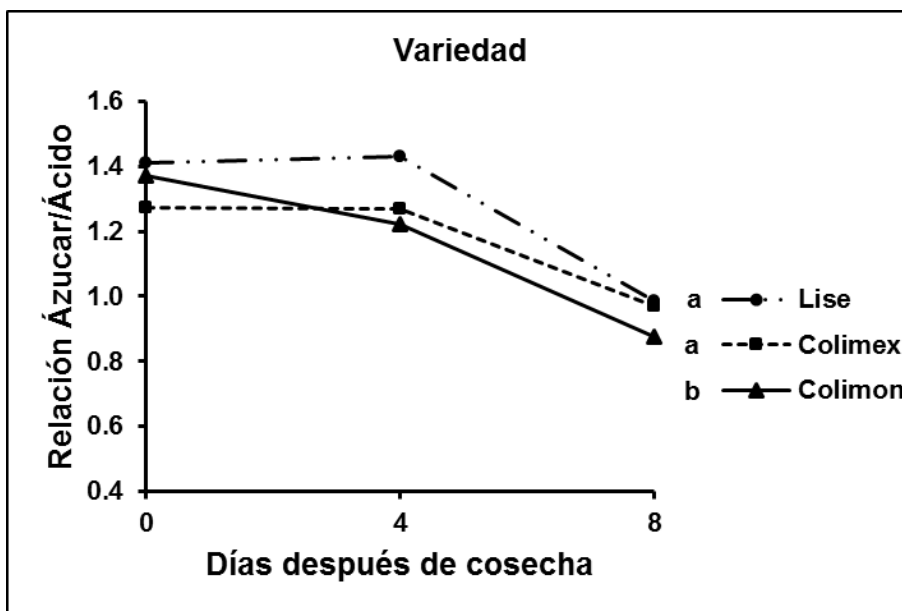


Figura 11. Efecto de la variedad sobre la relación azúcar/ácido de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^\circ\text{C}$).

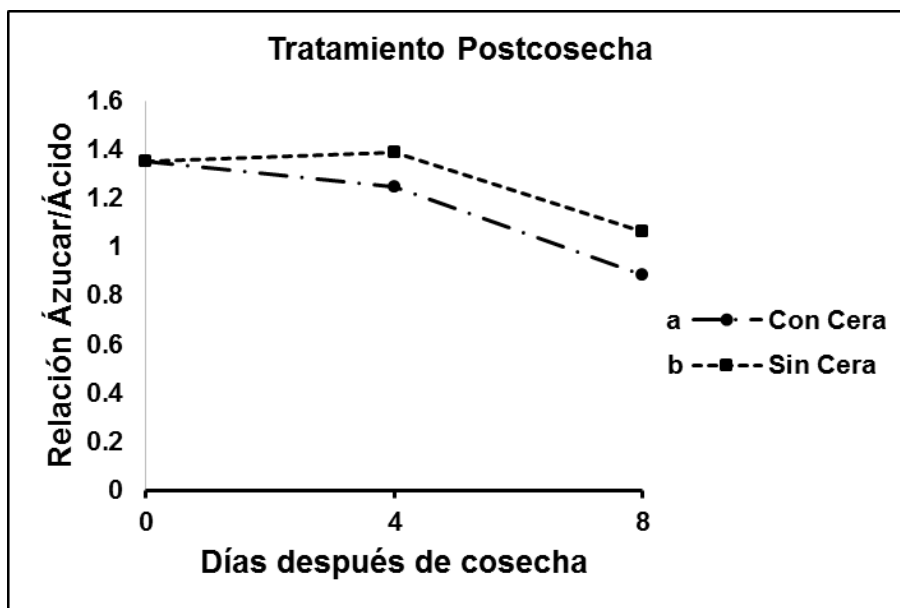


Figura 12. Efecto del tratamiento postcosecha sobre la relación azúcar/ácido de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^\circ\text{C}$).

Ácido Ascórbico o Vitamina C

De acuerdo con los resultados obtenidos respecto al contenido de ácido ascórbico, se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.01$) entre las variedades, tratamiento aplicado, tiempo de evaluación y la interacción tratamiento*tiempo de evaluación (Cuadro 6). En este sentido, 'Colimón' presentó estadísticamente una menor concentración de ácido ascórbico (23.12 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo), y logrando mantener la concentración del día 4 al día 8 (Figura 13) con relación a 'Lise y Colimex' (26.33 y 26.33 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de Jugo), respectivamente, lo que coincide con los resultados obtenidos por Muñoz-Lazcano *et al* (2011); Por su parte los frutos no encerados presentaron significativamente menor concentración de este ácido (23.30 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo), respecto a los frutos encerados (25.76 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo), lo que permite establecer que el tratamiento de encerado disminuye las pérdidas de vitamina C (Figura 14), al retardar el avance de la senescencia impuesta por la modificación de la atmósfera en los espacios intercelulares (Martínez-Jávega *et al.*, 2000). A través del tiempo de evaluación, la concentración de ácido ascórbico disminuyó conforme este se prologó, pasando de 28.89 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo al inicio del almacenamiento, hasta 25.82 y 18.88 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo a los 4 y 8 días, respectivamente, estando relacionada esta respuesta con un efecto de oxidación del ácido ascórbico para formar ácido dehidroascórbico y otros productos subsecuentes, cambio que conlleva a pérdidas en la actividad biológica de la vitamina C, existiendo algunas causas como factores de este cambio la concentración de oxígeno en el ambiente, pH y temperatura (Belitz, 1997), algunos de los cuales están relacionados con el fenómeno de senescencia en cítricos. Se han reportado (Saucedo-Veloz y Medina-Urrutia, 2008) en trabajos con frutos de limón mexicano cosechados cuando han alcanzado color amarillo, que presentan un menor contenido de ácido ascórbico, lo que sugiere que las pérdidas de esta vitamina está relacionada con el grado de madurez, por lo cual será mayor el contenido de vitamina C en frutos en estado verde y menor en amarillos.

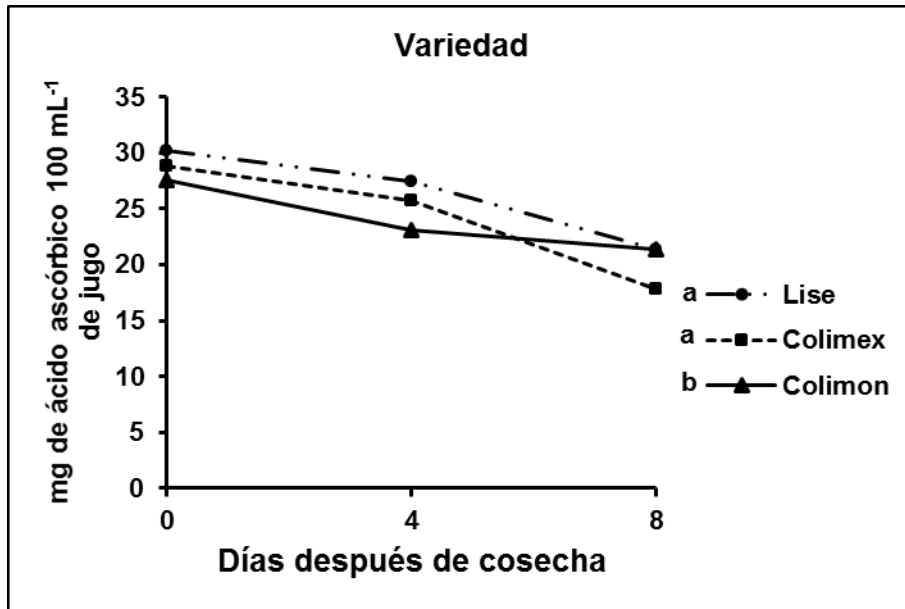


Figura 13. Efecto de la variedad sobre el contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente (22±2°C).

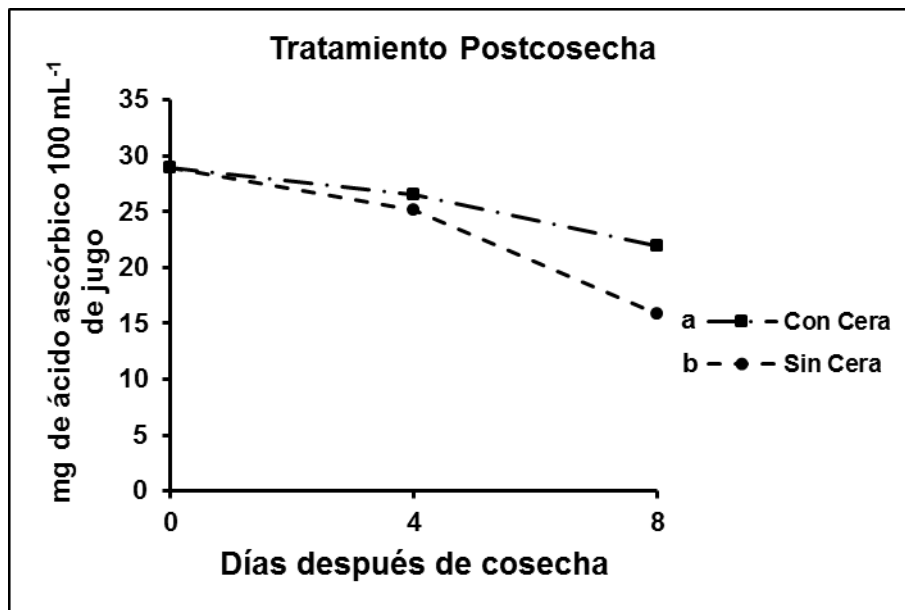


Figura 14. Efecto de la variedad sobre el contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente (22±2°C).

Cuadro 6. Resultados del análisis de varianza (P-value) para cada una de las variables analizadas en condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente.

FACTOR	Índice de Color	Pérdida de Peso (%)	Acidez Titulable (% de Ácido Cítrico)	Sólidos Solubles (%)	Relación Azúcar/Ácido	Ácido Ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL ⁻¹ de Jugo)
Variedad (VAR)	0.2643 ^{NS}	0.0021 ^{**}	0.0296 [*]	0.0014 ^{**}	0.0117 [*]	0.0078 ^{**}
Tratamiento Postcosecha (TRAT POST)	0.4745 ^{NS}	0.0026 ^{**}	<0.0001 ^{**}	0.2508 ^{NS}	0.0013 ^{**}	0.0040 ^{**}
VAR*TRAT POST	0.0835 ^{NS}	0.0077 ^{**}	0.8371 ^{NS}	0.8546 ^{NS}	0.6979 ^{NS}	0.6919 ^{NS}
Tiempo de Evaluación (T EVAL)	<0.0001 ^{**}	<0.0001 ^{**}	<0.0001 ^{**}	0.0003 ^{**}	<0.0001 ^{**}	<0.0001 ^{**}
VAR*T EVAL	0.0141 [*]	0.0077 ^{**}	0.12690 ^{NS}	0.0634 ^{NS}	0.0490 [*]	0.8532 ^{NS}
TRAT POST*T EVAL	0.3763 ^{NS}	0.03110 [*]	<0.0001 ^{**}	0.5648 ^{NS}	0.0068 ^{**}	0.0045 ^{**}
VAR*TRAT POST*T EVAL	0.4888 ^{NS}	0.1493 ^{NS}	0.9205 ^{NS}	0.0802 ^{NS}	0.4859 ^{NS}	0.5415 ^{NS}

^{NS}=No significativo, ^{*}=Significativo al 95% de probabilidad ^{**}=Significativo al 99 % de probabilidad

Cuadro 7. Análisis de varianza (P-value) para las variables estudiadas de los efectos principales sobre la calidad de frutos de limón mexicano, después de 8 días de almacenamiento

FACTOR	Índice de Color	Pérdida de Peso (%)	Acidez Titulable (% de ácido cítrico)	Sólidos Solubles (%)	Relación Azúcar/Ácido	Ácido Ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL ⁻¹ de Jugo)
VARIEDAD						
Colimex	-12.22a	7.86b	8.42a	9.63b	1.17	24.14ba
Colimon	-11.77a	9.09a	8.23ba	9.57b	1.19	23.12b
Lise	-11.18a	9.32a	7.98b	9.82a	1.27	26.33a
TRATAMIENTO POSTCOSECHA						
Con cera	-11.54a	8.22b	8.61a	9.70a	1.26	25.76a
Sin cera	-11.91a	9.29a	7.80b	9.65a	1.16	23.30b
TIEMPO DE EVALUACIÓN						
0 días	-13.52c		7.07c	9.53c	1.35	28.89a
4 días	-12.04b	5.79b	7.53b	9.82a	1.31	25.82b
8 días	-9.60a	11.72a	10.02a	9.68b	0.97	18.88c

Medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

5.2 Experimento 1

5.2.1 Almacenamiento Bajo Condiciones de Refrigeración

Los frutos de las tres variedades almacenadas a $9\pm 1^{\circ}\text{C}$, durante dos semanas, no presentaron síntomas externos de daños por frío, tanto a la salida de la frigoconservación como durante su exposición a las condiciones de comercialización ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$). En cuanto a la calidad interna los resultados se muestran en los cuadros 8 y 9.

Índice de Color

El color externo de los frutos almacenados a $9\pm 1^{\circ}\text{C}$, presentó diferencias estadísticas ($p < 0.05$), por efecto de la variedad, siendo 'Lise' la que evolucionó hasta un IC menos negativo (-7.55), respecto a 'Colimex' (-8.06) y 'Colimón' (-8.33) (Cuadro 9, Figura 15), lo que implica que los frutos de esta variedad resultaron con una tonalidad menos verde, como respuesta a pérdidas en clorofila de la cáscara, (Agustí, 2003). Por su parte, el efecto de los tratamientos mostró también diferencias significativas ($p < 0.01$), en cuyo caso el tratamiento de acondicionamiento en frutos sin encerar alcanzaron la tonalidad menos verde (IC= -7.15) (Figura 16), en comparación a los demás tratamientos presentaron un IC $>$ de -8.0, lo que pone de manifiesto que el tratamiento de acondicionamiento con fines de control de daños por frío acelera la pérdida de la clorofila en los frutos de limón mexicano al favorecer un avance de la senescencia en los frutos, por su parte. (Hatton, 1990). En cuanto a la evaluación a través del tiempo, se presentaron diferencias significativas ($p < 0.01$), en cuyo caso el IC mostró una constante disminución conforme el periodo de almacenamiento se prolongó, pasando de -9.91 hasta -7.95 y -6.08, para el valor inicial, 4 y 8 días de exposición a temperatura de comercialización tras dos semanas a $9\pm 1^{\circ}\text{C}$. Respecto a las interacciones, se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$), en variedad* tratamiento, variedad*tiempo de evaluación y tratamiento*tiempo de evaluación.

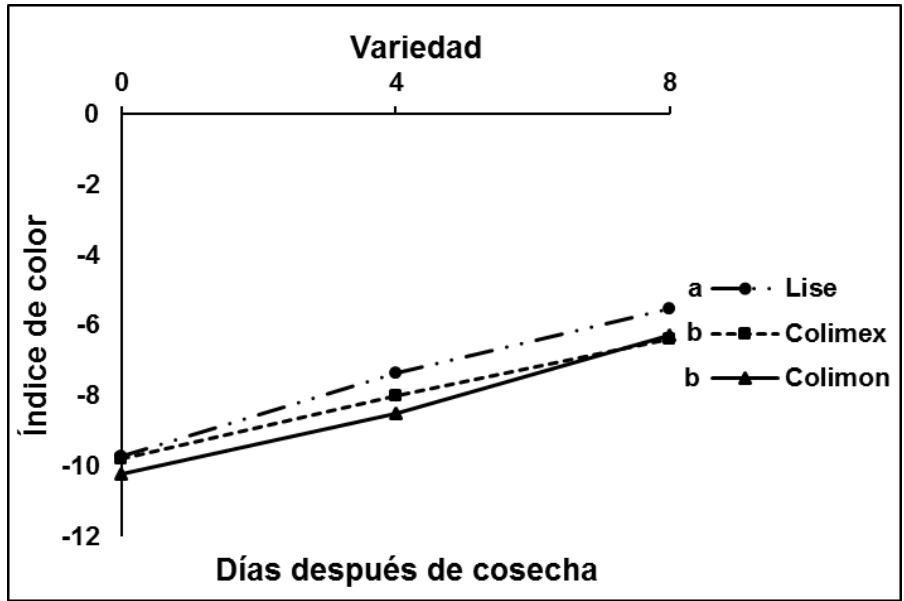


Figura 15. Efecto de la variedad sobre el cambio del índice de color de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).

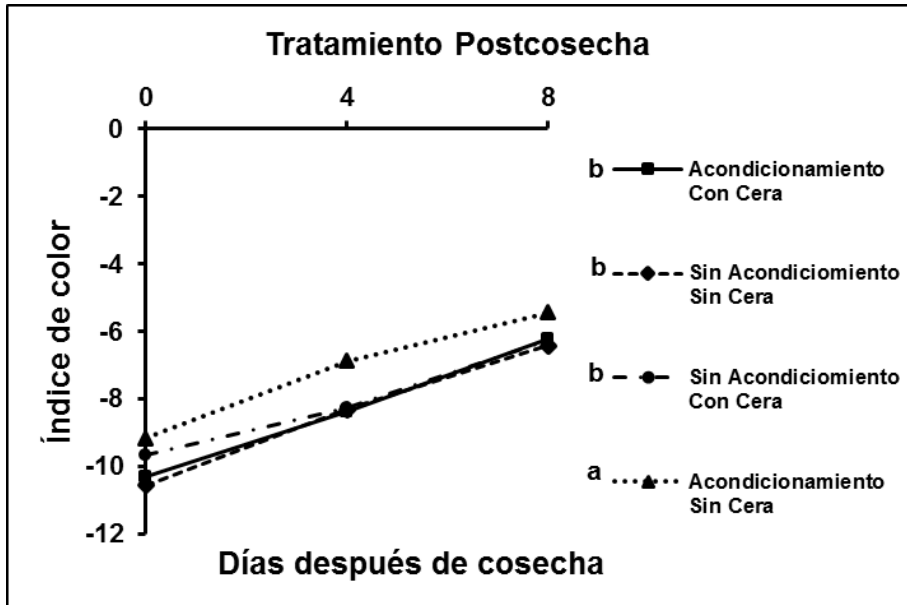


Figura 16. Efecto de los tratamientos postcosecha sobre el cambio del índice de color de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Pérdida de Peso

Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la pérdida fisiológica de peso entre los frutos de las tres variedades sin acondicionar y acondicionados en el tiempo de almacenamiento estudiada (cuadro 8). Las variedades que perdieron mayor porcentaje de peso fueron 'Colimex' y 'Colimón' con 11.02 y 11.48 %, respectivamente, con respecto a 'Lise' quien perdió menor porcentaje de peso 10.43 % en un periodo de almacenamiento de dos semanas (Figura 17). También se observaron diferencias en cuanto a la aplicación del recubrimiento en frutos sin acondicionar con cera, en comparación al resto de los tratamientos de acondicionamiento con cera, acondicionamiento sin cera y sin acondicionamiento sin cera (Figura 18). Esta variable mostró diferencia estadística significativa después de la salida del almacenamiento por 2 semanas expuestos a temperatura de comercialización, alcanzando una pérdida de peso de 4.64 % para para el día inicial (día 0), aumentando significativamente para el día 8 de evaluación alcanzando una pérdida de 16.41 %; considerando los niveles críticos de pérdidas de peso de 5-6 % (Saucedo y Medina (2008), los frutos tras el periodo de refrigeración presentan una vida de anaquel muy corta.

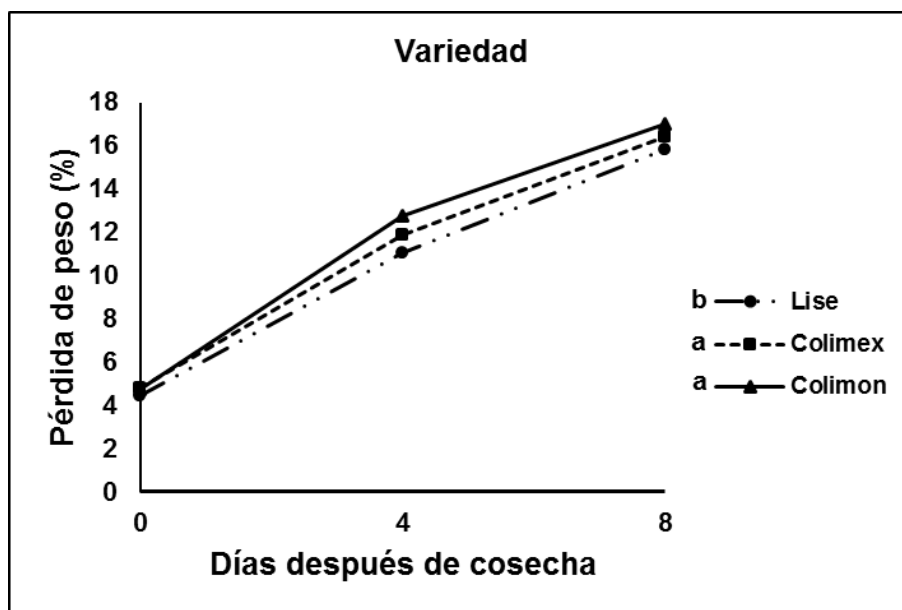


Figura 17. Efecto de la variedad sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a refrigeración ($9 \pm 1^\circ\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22 \pm 2^\circ\text{C}$).

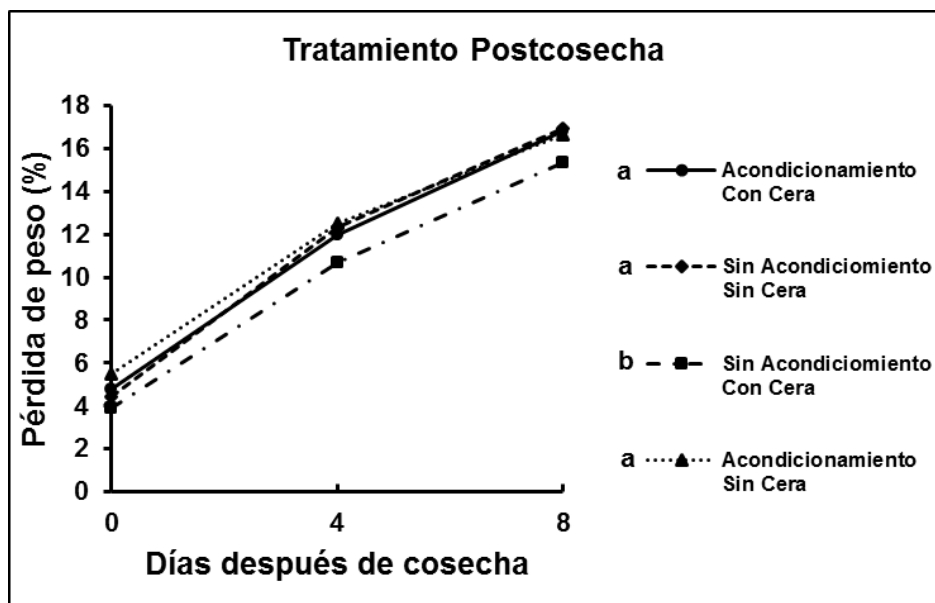


Figura 18. Efecto de los tratamientos postcosecha sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Acidez Titulable

La disminución de ácido cítrico durante el período de evaluación después del tiempo de almacenamiento, mostró diferencia significativa entre la salida del almacenamiento de refrigeración y el final del periodo de exposición a las condiciones de comercialización, alcanzando 7.73 %, 7.79 % y 7.53 % de ácido cítrico, para ‘Colimex’, ‘Colimón’ y ‘Lise’, respectivamente, (Cuadro 9). De acuerdo con Terdwongworakul *et al* (2009), la acumulación de los ácidos orgánicos se lleva a cabo en la vacuola y la disminución de los mismos se encuentra relacionada con su utilización como sustrato respiratorio o interconversión a otros compuestos.

Sólidos Solubles Totales

Para este parámetro se presentaron diferencias en las tres variedades, siendo ‘Colimón’ la que presentó el menor contenido de 9.50 % de sólidos solubles y ‘Lise’ el mayor contenido de 9.85 % (Cuadro 9 y Figura 19). Durante el periodo de evaluación a través del tiempo los resultados mostraron que el análisis estadístico presentó un

aumento significativo, entre la salida de refrigeración y cuatro días de exposición a la temperatura de comercialización 9.5 % Y 9.7 %, respectivamente, debido a un avance en la senescencia donde el metabolismo de la pared celular favorece la liberación de azúcares (Biolatto *et al*, 2005). En frutos de limón, los cambios en la concentración de azucares, experimentan un leve incremento inicial y posteriormente dicho contenido disminuye (Muñoz *et al.*, 2011).

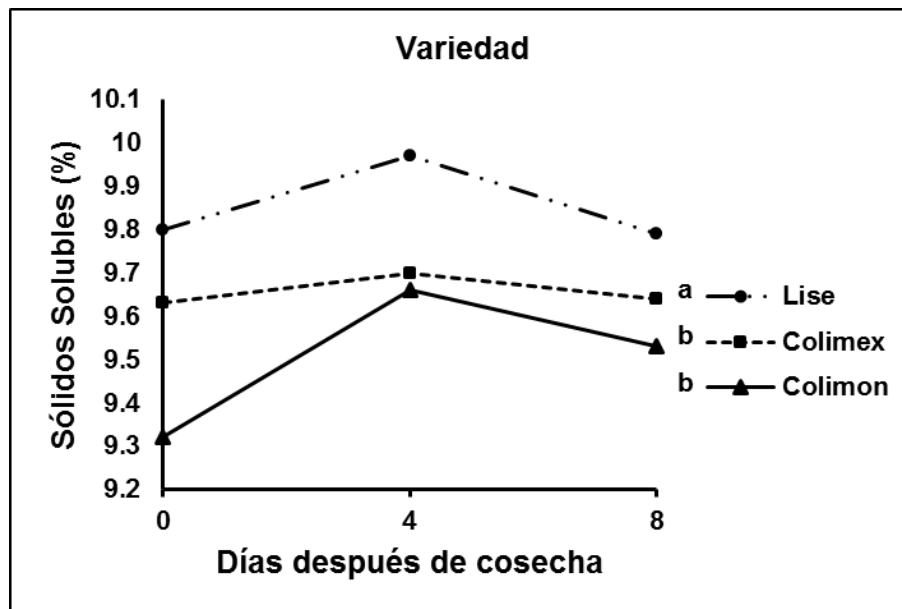


Figura 19. Efecto de la variedad sobre el contenido de sólidos solubles (%) de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Relación °Brix/%Ácido Cítrico

Con respecto a los resultados obtenidos se observó que hubo diferencia significativa entre las tres variedades, encontrando que 'Lise' con 1.30, fue diferente a 'Colimex' y 'Colimon', ambas con 1.24 (Cuadro 9 y Figura 20). Después del tiempo de almacenamiento los frutos se expusieron en condiciones de temperatura ambiente, para lo cual conforme avanzó el periodo de evaluación los valores aumentaron siendo 1.24, 1.25 y 1.28 para 'Colimex', 'Colimón' y 'Lise', respectivamente. Estos valores coinciden con reportes con cítricos donde la relación % sólidos solubles / % ácido cítrico aumenta en postcosecha, siendo el límite su estado de senescencia (Rodríguez *et al.*, 2007).

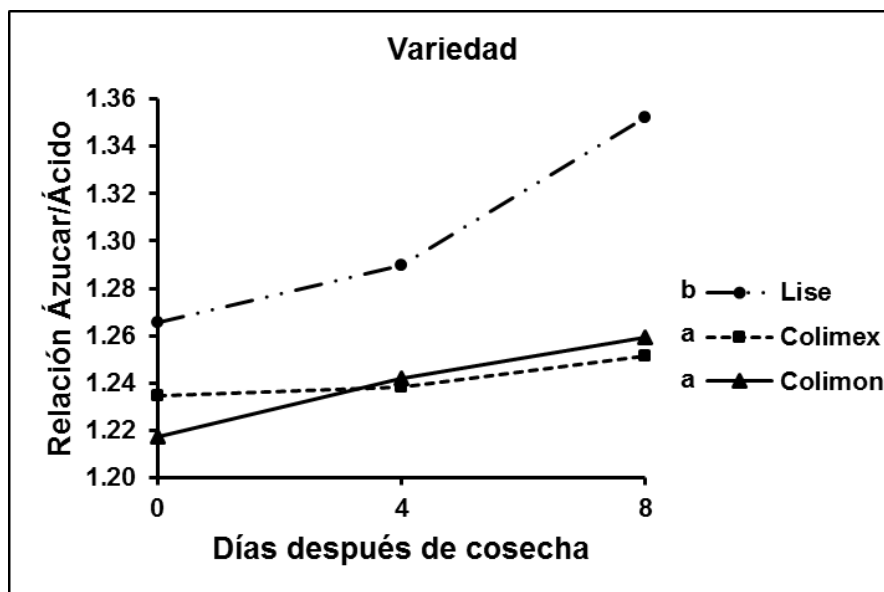


Figura 20. Efecto de la variedad sobre la relación azúcar/ácido de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a refrigeración ($9\pm 1^\circ\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^\circ\text{C}$).

Ácido Ascórbico o Vitamina C

En el cuadro 9 se muestra que la variedad Colimex y Lise presentaron significativamente mayor concentración de ácido ascórbico ($30.26 \text{ mg de ácido ascórbico } 100 \text{ mL}^{-1}$ de jugo y $31.33 \text{ mg de ácido ascórbico } 100 \text{ mL}^{-1}$ de jugo), respectivamente, en comparación a 'Colimón' quien presentó el menor porcentaje de $25.67 \text{ mg de ácido ascórbico } 100 \text{ mL}^{-1}$ de jugo durante el almacenamiento a $9\pm 1^\circ\text{C}$ (Figura 21). En relación al efecto de los tratamientos, se presentaron diferencias en el contenido de ácido ascórbico en los correspondientes a los frutos con acondicionamiento y sin cera, mostrando estadísticamente un menor contenido respecto a los sin acondicionamiento y con cera (27.76 y $30.46 \text{ mg de ácido ascórbico } 100 \text{ mL}^{-1}$ de jugo) respectivamente (Figura 22). La disminución de ésta vitamina está relacionada con un efecto de oxidación del ácido ascórbico para formar dehidroascórbico lo que provoca pérdidas en la actividad biológica de la vitamina C, siendo los principales factores de este cambio la concentración de oxígeno en el ambiente, pH y la temperatura (Beltiz, 1997). Lo antes mencionado explica la pérdida de ácido ascórbico en los frutos sometidos a una temperatura de acondicionamiento sin

cera (17 °C / 3 días + 9 °C / 13 días). A través del tiempo de evaluación se mostró una pérdida en el contenido de vitamina C a temperatura ambiente tras el periodo de refrigeración; observándose una disminución estadísticamente significativa a la salida con respecto al día 4, manteniéndose constante la pérdida para el término del período.

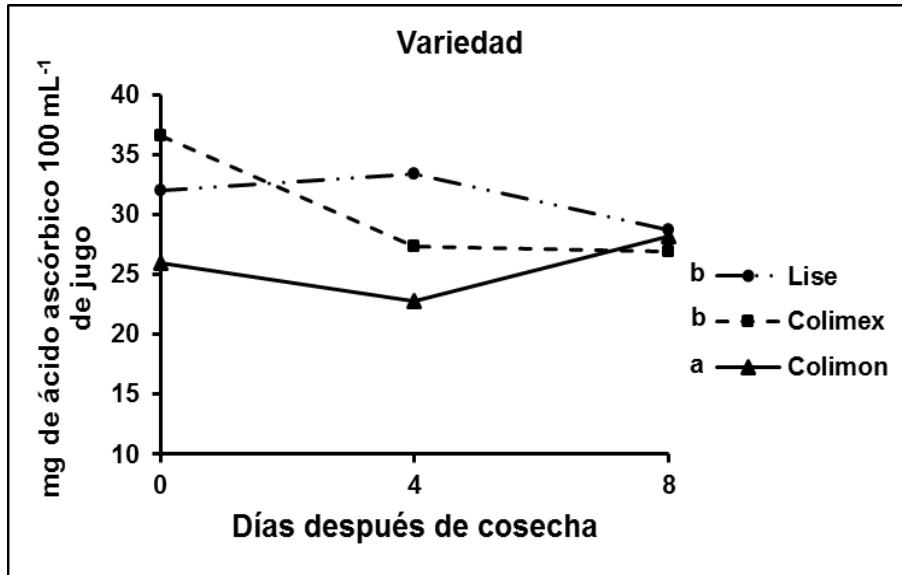


Figura 21. Efecto de la variedad sobre el contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo) de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a refrigeración (9±1°C), más 4 y 8 días a (22±2°C).

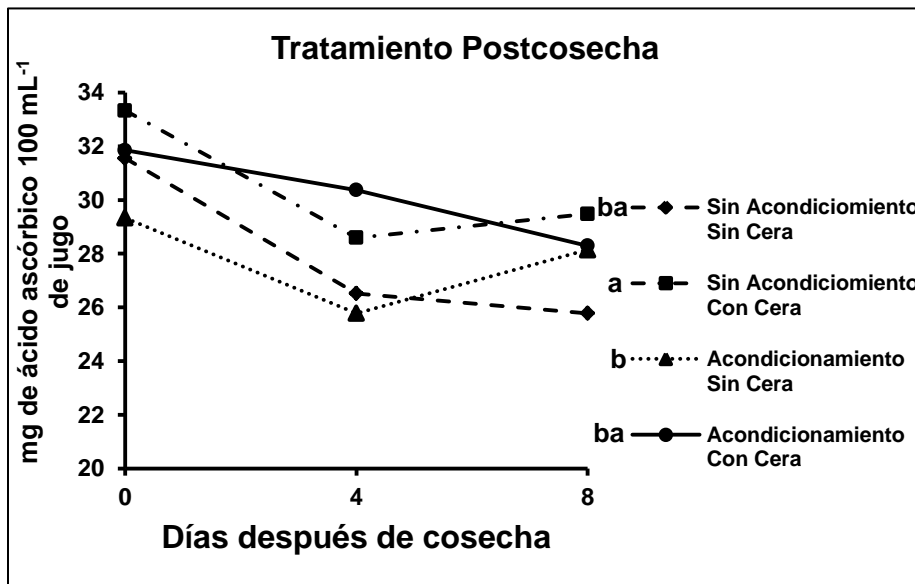


Figura 22. Efecto del tratamiento postcosecha sobre el contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo) de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas a temperatura de refrigeración (9±1°C), más 4 y 8 días (22±2°C).

Cuadro 8. Análisis de varianza (P-value) para cada una de las variables analizadas en condiciones de almacenamiento de refrigeración

FACTOR	Índice de Color	Pérdida de Peso (%)	Acidez Titulable (% de ácido Cítrico)	Sólidos Solubles (%)	Relación Azúcar/Ácido	Ácido Ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL ⁻¹ de Jugo)
Variedad (VAR)	0.0152**	0.0051**	0.0931 ^{NS}	<0.0001*	0.0018*	<0.0001*
Tratamiento Postcosecha (TRAT POST)	0.0003**	0.0002**	0.1088 ^{NS}	0.9826 ^{NS}	0.2259 ^{NS}	0.0285**
VAR*TRAT POST	0.0013*	0.0485	0.1092 ^{NS}	0.2608 ^{NS}	0.2337 ^{NS}	0.0986 ^{NS}
Tiempo de Evaluación (T EVAL)	<0.0001**	<0.0001**	0.0078*	0.0002*	0.0064*	<0.0001*
VAR*T EVAL	0.0072*	<.00001**	0.1054 ^{NS}	0.0728 ^{NS}	0.3405 ^{NS}	<0.0001*
TRAT POST**T EVAL	0.0118*	<0.0025*	0.0776 ^{NS}	0.4831 ^{NS}	0.3940 ^{NS}	0.2571 ^{NS}
VAR*TRAT POST*T EVAL	0.0829 ^{NS}	<0.6074 ^{NS}	0.0645 ^{NS}	0.6211 ^{NS}	0.1035 ^{NS}	0.0726 ^{NS}

^{NS}=No significativo, *=Significativo al 95% de probabilidad **=Significativo al 99 % de probabilidad

Cuadro 9. Análisis de varianza (P-value) para las variables estudiadas de los efectos principales sobre la calidad de frutos de limón mexicano, después de 2 semanas de almacenamiento

FACTOR	Índice de Color	Pérdida de Peso (%)	Acidez Titulable (% de Ácido Cítrico)	Sólidos Solubles (%)	Relación azúcar/ácido	Ácido Ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL ⁻¹ de Jugo)
VARIEDAD						
Colimex	-8.06b	11.02a	7.79a	9.65b	1.24a	30.26a
Colimon	-8.33b	11.48a	7.68ba	9.50c	1.24a	25.67b
Lise	-7.55a	10.43b	7.59a	9.85a	1.30b	31.33a
TRATAMIENTO POSTCOSECHA						
Acond/sin cera	-7.15a	11.54a	7.77a	9.68a	1.24a	27.76b
Acond/con cera	-8.29b	11.23a	7.67a	9.67a	1.28a	30.17ba
Sin acond/sin cera	-8.42b	11.22a	7.76a	9.67a	1.25a	27.96ba
Sin acond/con cera	-8.06b	9.96b	7.54a	9.65a	1.28a	30.46a
TIEMPO DE EVALUACIÓN						
0 días	-9.91c	4.64c	7.73a	9.58b	1.24	31.52a
4 días	-7.95b	11.87b	7.79a	9.77a	1.25	27.81b
8 días	-6.08a	16.41a	7.53b	9.65b	1.28	27.92b

Medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey (p 0.05)

5.3 Experimento 2

5.3.1 Almacenamiento Bajo Condiciones Ambientales

Índice de Color

Contrario al experimento uno, se observó diferencia estadística significativa ($p < 0.01$) (Cuadro 10) entre variedades, siendo 'Lise' la que presentó la mayor tonalidad verde (-14.77) seguido de 'Colimex' (-12.64) y Colimón (-11.15) (Cuadro 11), situación que pone de manifiesto el efecto de la época de cosecha en la coloración de los frutos de limón (Agustí *et al.*, 2002). La interacción variedad*tratamiento resultó significativa ($p < 0.05$) siendo 'Lise' con y sin cera las de mayor tonalidad verde. Por otro lado, a través del tiempo fue significativo para las tres variedades presentando una continua disminución en la tonalidad verde alcanzando a los ocho días un valor de -10.92, (Figura 23); la interacción variedad*tiempo de evaluación también resultó altamente significativos ($p < 0.01$) siendo 'Lise' quien mantuvo en mayor proporción el color verde de los frutos, al finalizar la evaluación. La interacción Variedad*Tratamiento*Tiempo de evaluación resultó significativa ($p < 0.05$) influyendo sobre todo el tiempo de evaluación.

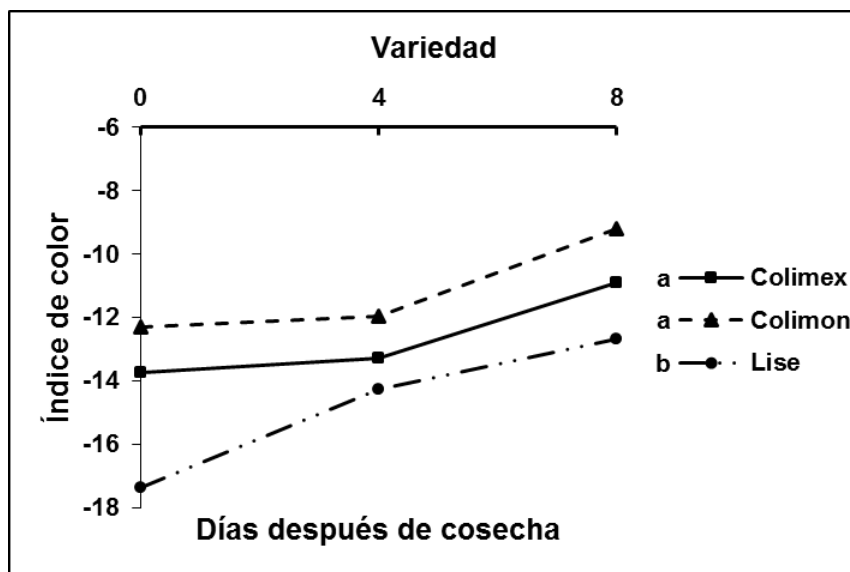


Figura 23. Efecto de la variedad sobre el cambio del índice de color de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente (22 ± 2 °C).

Pérdida de Peso

Las pérdidas de peso resultaron altamente significativas ($p < 0.01$) por el efecto variedad, tiempo de evaluación y su interacción, en cuyo caso la variedad Lise resultó con la menor pérdida (6.08 %) respecto a 'Colimex' (7.23 %) y 'Colimón' (7.29 %), comportamiento que se mantuvo durante el tiempo de evaluación por cuatro y ocho días a la temperatura ambiente (Cuadro 11 y Figura 24). Es de señalar que las menores pérdidas de peso de la variedad Lise se debe a la ausencia de picaduras por espinas y una cáscara ligeramente más gruesa, lo que mejora su calidad física y le permite un mejor comportamiento postcosecha a diferencia de las otras dos variedades (Muñoz *et al.*, 2011); en cuanto el efecto del tiempo de evaluación, se relaciona con el avance de la senescencia tal como se mencionó en el experimento uno.

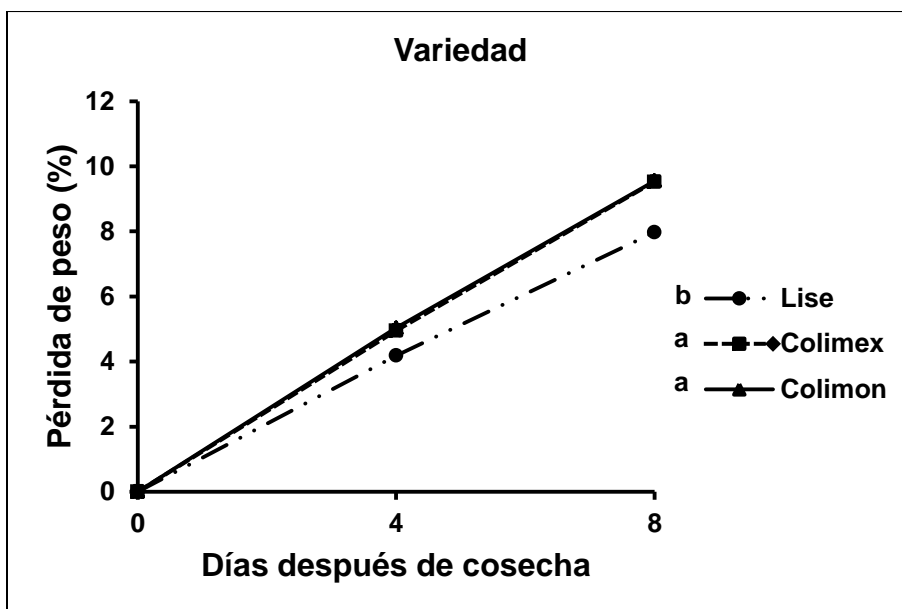


Figura 24. Efecto de la variedad sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22 \pm 2^\circ\text{C}$).

Acidez Titulable

De acuerdo con los resultados (Cuadro 10 y 11), el contenido de ácido cítrico, solo mostró diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) por efecto del tiempo de evaluación, encontrando un aumento al finalizar el almacenamiento en condiciones de comercialización. Se ha reportado que en frutos de toronja el aumento y disminución del contenido de ácido cítrico está relacionado con la habilidad fosforilativa de la mitocondria, siendo este comportamiento similar en otros frutos cítricos (Ting y Attaway, 1974).

Sólidos Solubles Totales

En la Figura 25 se presentan los cambios en el contenido de sólidos solubles de las tres variedades, los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre variedades, donde 'Colimex' alcanzó un mayor contenido de sólidos solubles (8.79 %) en relación a 'Lise' (8.66 %). A través del tiempo de evaluación, se observó un decremento en el % sólidos solubles conforme se extendió el tiempo de almacenamiento.

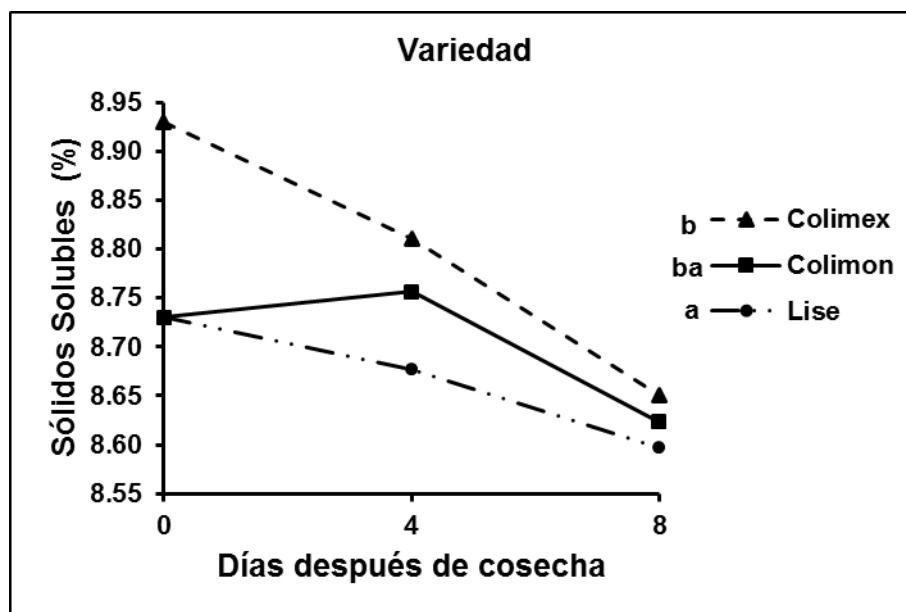


Figura 25. Efecto de la variedad sobre el contenido de sólidos solubles (%) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente (22 ± 2 °C).

Relación °Brix/%Ácido Cítrico

Los resultados muestran que hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) entre variedades, en donde 'Colimex' fue significativamente mayor a 'Lise' (Figura 26). Además se puede observar que el efecto tiempo de evaluación, conforme éste se prolonga, disminuye la relación sólidos solubles/ ácido cítrico alcanzando para el día 8 un valor de 1.15.

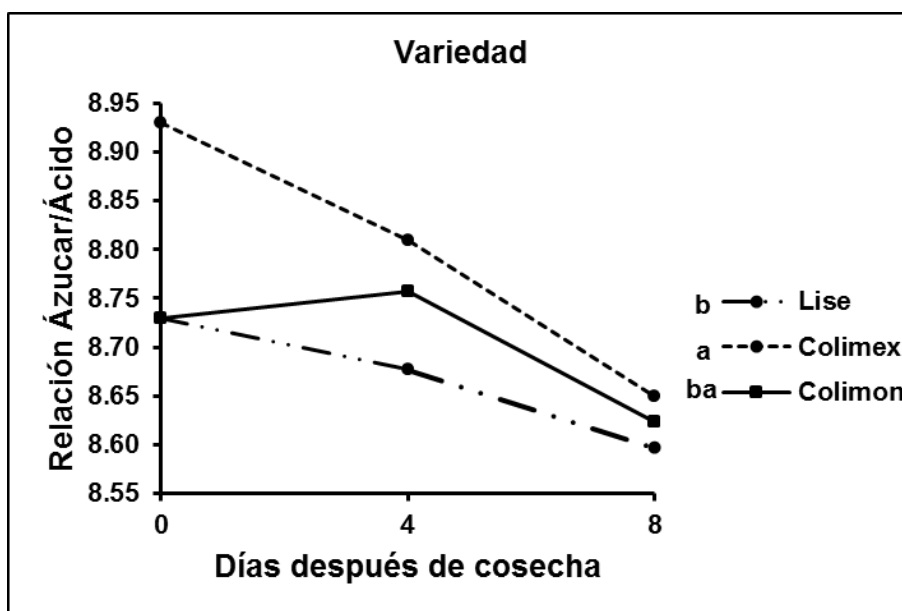


Figura 26. Efecto de la variedad sobre la relación azúcar/ácido de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente (22 ± 2 °C).

Ácido Ascórbico o Vitamina C

Respecto a los resultados obtenidos en cuanto a relación del contenido de ácido ascórbico (Cuadro 10), se mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre las variedades, tiempo de evaluación e interacciones variedad*tiempo de evaluación y tratamiento postcosecha*tiempo de evaluación. En este contexto, la variedad Lise y Colimex presentaron la mayor concentración de ácido ascórbico (36.05 y 35.17 mg de ácido ascórbico 100 mL^{-1} de jugo), respectivamente, con relación a 'Colimón' (32.04 mg de ácido ascórbico 100 mL^{-1} de jugo) (Figura 27),

lo que coincide con los resultados obtenidos en el experimento uno. De acuerdo al tiempo de evaluación, conforme evolucionó la concentración de éste ácido se logró mantener, pasando de (32.3 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo) hasta (36.7 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo) a la salida y 8 días, respectivamente. La interacción variedad*tiempo de evaluación fue significativa ($p<0.01$), siendo 'Lise' quien presentó el mayor contenido de vitamina C al finalizar el período de evaluación, mostrando significancia el tratamiento con 1-MCP al finalizar el período.

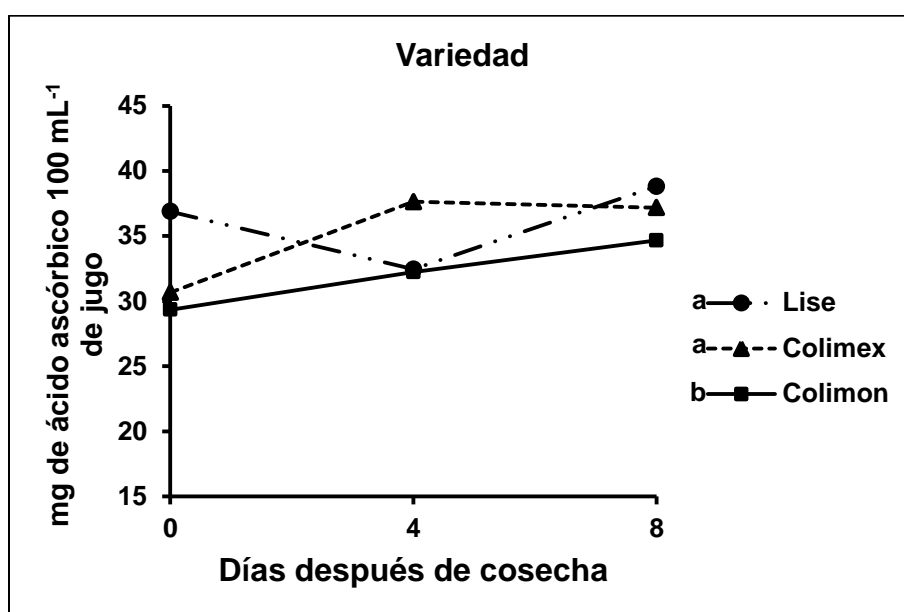


Figura 27. Efecto de la variedad sobre el contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo) de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente (22±2°C).

Clorofila

Con respecto al contenido de clorofila en los frutos de limón, el factor variedad y tiempo de evaluación mostraron diferencia estadística significativa ($p<0.01$). Con respecto al efecto variedad, 'Colimón' fue quien presentó la menor concentración de clorofila (0.65 mg 100 g⁻¹), con relación a 'Lise' y 'Colimex' (0.91y 0.87 mg 100 g⁻¹), respectivamente (Cuadro 11, Figura 28), lo que coincide con los resultados obtenidos del índice de color. En cuanto al tiempo de evaluación, el contenido de

clorofila disminuye significativamente al día 4, aumentando posteriormente hasta $1.0 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ al día 8, como resultado de un efecto de concentración por pérdidas de agua en la cáscara.

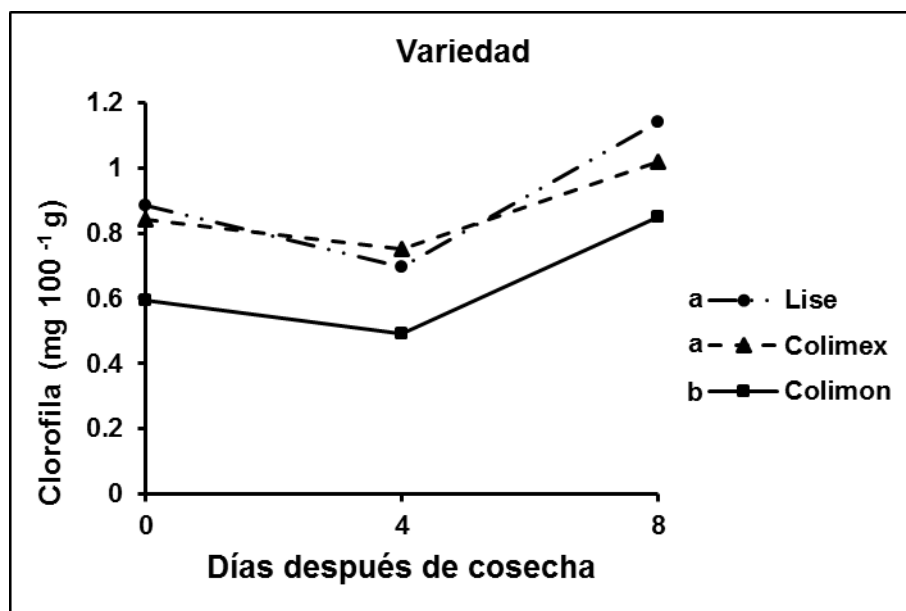


Figura 28. Efecto de la variedad sobre el contenido de clorofila de frutos de limón mexicano, después de 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^\circ\text{C}$).

Acetaldehído

En el experimento no se detectó etanol, no así acetaldehídos donde sólo se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) por efecto de tiempo de evaluación, encontrándose un mayor contenido de éste compuesto volátil después de 8 días de almacenamiento, lo cual, de acuerdo con Ke *et al* (1994) y, Larsen y Watkins (1995) se relaciona con el fenómeno de senescencia.

Cuadro 10. Análisis de varianza (P-value) para cada una de las variables analizada en condiciones de almacenamiento de temperatura ambiente

FACTOR	Índice de Color	Pérdida de Peso (%)	Acidez Titulable (% Ácido Cítrico)	Sólidos Solubles (%)	Relación Azúcar/Ácido	Ácido Ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de Jugo)	Clorofila (mg 100 g⁻¹)	Acetaldehído (µg 100⁻¹ ml de jugo)
Variedad (VAR)	<0.0001**	<0.0001**	0.0912 ^{NS}	0.0081**	0.0080**	0.0069**	<0.0001**	0.1971 ^{NS}
Tratamiento Postcosecha (TRAT POST)	0.1596 ^{NS}	0.3502 ^{NS}	0.1108 ^{NS}	0.2113 ^{NS}	0.3276 ^{NS}	0.5496 ^{NS}	0.5020 ^{NS}	0.7064 ^{NS}
VAR*TRAT POST	0.0136*	0.2771 ^{NS}	0.8376 ^{NS}	0.4315 ^{NS}	0.9529 ^{NS}	0.3083 ^{NS}	0.4090 ^{NS}	0.8968 ^{NS}
Tiempo de Evaluación (T EVAL)	<0.0001**	<0.0001**	0.0298*	0.0014**	0.0007**	<0.0001**	<0.0001**	0.0240*
VAR*T EVAL	<0.0001**	0.0013**	0.2008 ^{NS}	0.4574 ^{NS}	0.0951 ^{NS}	0.0085**	0.0694 ^{NS}	0.1865 ^{NS}
TRAT POST*T EVAL	0.3360 ^{NS}	0.8948 ^{NS}	0.3781 ^{NS}	0.5976 ^{NS}	0.4899 ^{NS}	0.0045**	0.1296 ^{NS}	0.9538 ^{NS}
VAR*TRAT POST*T EVAL	0.0140*	0.3246 ^{NS}	0.9363 ^{NS}	0.4884 ^{NS}	0.9426 ^{NS}	0.0285*	0.9264 ^{NS}	0.7270 ^{NS}

NS=No significativo, *=Significativo al 95% de probabilidad **=Significativo al 99 % de probabilidad

Cuadro 11. Análisis de varianza (P-value) para las variables estudiadas de los efectos principales sobre la calidad de frutos de limón mexicano, después 8 días de almacenamiento

FACTOR	Índice de Color	Pérdida de Peso (%)	Acidez Titulable (% de ácido cítrico)	Sólidos Solubles (%)	Relación azúcar/ácido	Ácido Ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de Jugo)	Clorofila (mg 100 g⁻¹)	Acetaldehído (µg 100⁻¹ ml de jugo)
VARIEDAD								
Colimex	-12.64b	7.23a	7.23a	8.79a	1.21a	35.17a	0.87a	2.52a
Colimon	-11.15b	7.29a	7.30a	8.70ab	1.19ba	32.04b	0.65b	2.35a
Lise	-14.77c	6.08b	7.43a	8.66b	1.16b	36.05a	0.91a	2.28a
TRAMIENTO POSTCOSECHA								
Con cera	-13.13a	6.78a	7.23a	8.75a	1.18a	35.12a	0.79a	2.45a
Sin cera	-13.10a	7.11a	7.42a	8.68a	1.20a	34.27a	0.81a	2.37a
1 MCP	-12.31a	6.72a	7.30a	8.73a	1.19a	35.12a	0.82a	2.34a
TIEMPO DE EVALUACIÓN								
0 días	-14.46c		7.2b	8.79a	1.21a	32.3b	0.78a	2.57b
4 días	-13.16b	4.7b	7.3ba	8.74a	1.20a	34.3ba	0.64b	2.19ab
8 días	-10.92a	9.0a	7.5a	8.62b	1.15b	36.7a	1.00c	2.40a

Medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

5.4 Experimento 2

5.4.1 Almacenamiento Bajo Condiciones de Refrigeración

Considerando que la temperatura es el factor más importante en la vida postcosecha de los productos hortofrutícolas, el almacenamiento en frío es la tecnología más extendida en los frutos cítricos. Para el estudio realizado bajo condiciones de almacenamiento de refrigeración ($9\pm 1^\circ\text{C}$) y posteriormente expuestas a condiciones de temperatura de comercialización, se observaron diferencias en las variables analizadas.

Índice de Color

De acuerdo con los resultados obtenidos (Cuadro 15), se presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0.01$), por efecto de los factores variedad, tiempo de almacenamiento, tiempo de evaluación, así como en la interacción variedad*tiempo de almacenamiento y tiempo de evaluación. En lo que se refiere al factor variedad, 'Lise' mantuvo un valor de -12.89 presentando la menor pérdida de color, respecto a 'Colimex' y 'Colimón' quienes alcanzaron valores de -11.0 y -9.5, respectivamente, lo que implica que éstas últimas dos variedades presentaron el menor índice de color (Figura 29). De acuerdo con Navarro *et al* (2006), la degradación de la clorofila de la cascara de los cítricos durante la maduración y la senescencia, supone una pérdida de la coloración verde o un desenmascaramiento de los carotenos que son pigmentos de color amarillo y naranja, con el consiguiente cambio de color. Por su parte, el factor tiempo de almacenamiento mostró una degradación en la clorofila de los frutos conforme éste se prolongó lo que evidenció una reducción del color, alcanzando valores a la salida de 2 semanas de refrigeración de -12.22; siendo esta reducción significativamente más alta ($p < 0.01$) tras 4 semanas de almacenamiento (-10.04), con lo cual los frutos disminuyeron su color verde característico (Figura 30). Es importante destacar que al evaluar el efecto de las interacciones: tiempo de almacenamiento*variedad, tratamiento postcosecha*tiempo de almacenamiento y variedad*tratamiento postcosecha*tiempo de almacenamiento, sobre el color en los

frutos de limón mexicano, se observó que debido a que el tiempo de almacenamiento es el único factor que tiene mayor influencia sobre este parámetro, no existe una combinación óptima con los factores antes mencionados. Después del almacenamiento a 9 ± 1 °C, los frutos se expusieron a condiciones de comercialización (22 ± 2 °C), para lo cual a través del tiempo de evaluación mostró una tendencia de disminución de color siendo significativa para las tres variedades, alcanzando al término del período de evaluación un IC de -9.4. Es importante mencionar que al evaluar el efecto combinado de variedad*tratamiento postcosecha*tiempo de evaluación sobre la disminución de color en los frutos de limón mexicano, se observó que la variedad y tiempo en el que se evaluaron, son los factores que tiene mayor influencia sobre este parámetro, encontrando que la mejor combinación para el día 8 fue 'Lise' encerado.

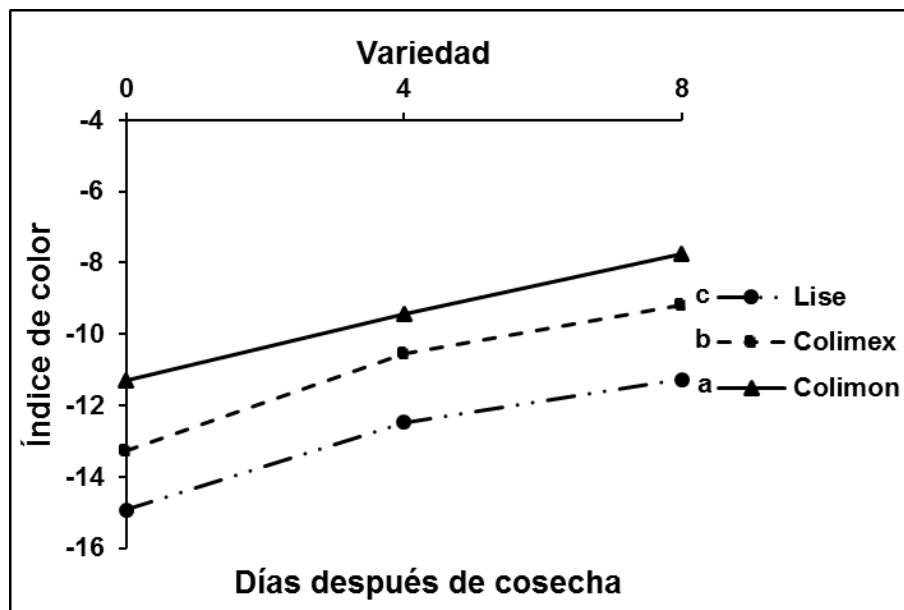


Figura 29. Efecto de la variedad sobre el cambio de índice de color de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración (9 ± 1 °C), más 4 y 8 días a temperatura ambiente (22 ± 2 °C)

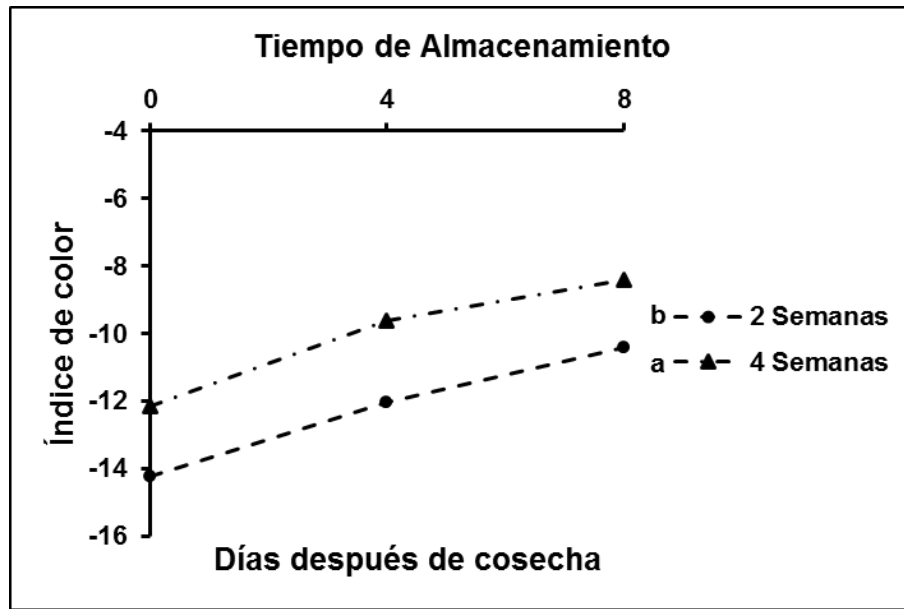


Figura 30. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el cambio de índice de color de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$)

Pérdida de Peso

Respecto a la variable de respuesta pérdida de peso, se observaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.01$) en los factores: variedad, tratamiento postcosecha, Tiempo de Almacenamiento y Tiempo de Evaluación, así como en las interacciones variedad*tiempo de evaluación, tratamiento postcosecha*tiempo de evaluación, tiempo de almacenamiento*tiempo de evaluación y variedad*tratamiento postcosecha, variedad *tiempo de almacenamiento, tratamiento postcosecha*tiempo de almacenamiento*t evaluación al ($p < 0.01$); y variedad *tratamiento postcosecha, variedad*tiempo de evaluación*tiempo de almacenamiento ($p < 0.05$). En lo que se refiere al factor variedad, 'Lise' presentó el menor porcentaje de pérdida de peso, respecto a 'Colimex' y 'Colimón' (Figura 31). De acuerdo con Ben-Yehoshua, *et al* (1985), mencionan que una de las principales causas de la reducción de la vida postcosecha de los cítricos es la transpiración, siendo el principal proceso de deterioro fisiológico, pues es el evento primario que induce la pérdida de peso y subsecuentes alteraciones fisiológicas como la desecación, arrugamiento,

suavización acelerada y pérdida de apariencia atractiva de la fruta, de tal manera que el estrés de agua resultante acelera la senescencia. Por otro lado, se observó diferencia significativa al aplicar los tratamientos para disminuir la pérdida de peso, para lo cual los frutos tratados con cera fueron los que presentaron la menor pérdida de peso (8.89 %), seguido de aquellos frutos tratados sin cera (9.63 %), en comparación al tratamiento con 1-MCP con el cual se perdió la mayor cantidad de % de peso (10.14 %), Figura (32). Así mismo, es importante destacar que al evaluar el efecto combinado de variedad y el uso de recubrimiento sobre la disminución de la pérdida de peso en los frutos de limón mexicano, para este caso las mejores combinaciones por su importancia fueron 'Lise' encerado, 'Lise' sin cera. De acuerdo con (Hagenmaier y Shaw, 1991ab) un fruto cubierto con una formulación cerosa, dependerá en gran medida, del tipo y proporción de los materiales empleados en la formulación, así como la técnica de preparación y estabilidad ya que esto permite obtener características como grosor, homogeneidad del recubrimiento, rendimiento, por otro lado, el mejoramiento de la apariencia, en el caso de los frutos no-climatéricos como los cítricos es muy importante reducir la tasa de transpiración ya que el estrés de agua se manifiesta físicamente en una marchitez de los frutos que reduce su valor comercial y la deshidratación también acelera drásticamente su senescencia disminuyendo su vida útil postcosecha. Como era de esperarse, las pérdidas de peso se incrementaron conforme se prolongó el tiempo de almacenamiento, alcanzando valores a la salida de 2 semanas de refrigeración de 7.97 % e incrementándose hasta 11.14 % para el almacenamiento por 4 semanas (Figura 33), ésta pérdida de peso en los frutos se debe a la deshidratación desde los primeros días de almacenamiento como consecuencia del fenómeno que se presenta denominado transpiración. Por ello, es importante destacar que al evaluar el efecto combinado de variedad*tratamiento postcosecha*tiempo de almacenamiento, se observó que hay influencia sobre este parámetro, encontrando que la mejor combinación para evitar menores pérdidas de agua en el fruto fue 'Lise' encerado con 2 semanas de almacenamiento (7.19 %) y 'Colimón' 1-MCP como la peor combinación al haber perdido un 9.44 %; para las 4 semanas, lise encerado mostró el menor % de pérdida de peso (10.26 %), con respecto a 'Colimex' sin cera quien

perdió el mayor porcentaje (12.37 %). De acuerdo a las condiciones de almacenamiento en refrigeración hubo una pérdida de peso, de igual manera a la salida, y expuestos a condiciones de almacenamiento de comercialización, encontrándose que se incrementó progresivamente la pérdida de peso por lo que al finalizar el período de evaluación, las pérdidas de peso en los frutos resultaron mayores pasando de 6.44 % a 12.33 % del día inicial al día 8, respectivamente. Para la combinación variedad*tiempo de evaluación, quien mostró el menor % porcentaje de peso fue 'Lise', con 11.06 % para término de la evaluación. Es importante mencionar que la variedad que perdió el menor porcentaje de peso fue 'Lise' en cualquiera de los tiempos evaluados.

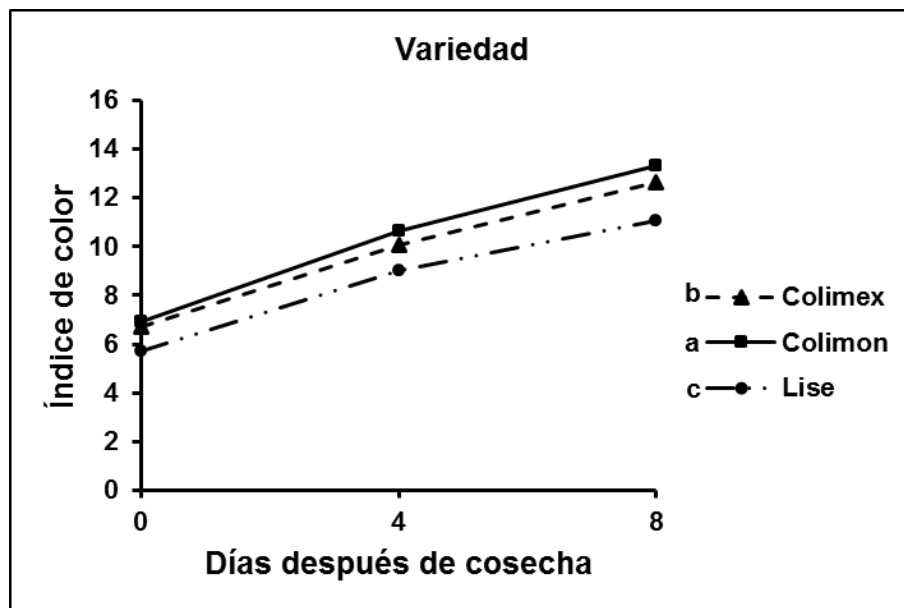


Figura 31. Efecto de la variedad sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración (9 ± 1 °C), más 4 y 8 días a temperatura ambiente (22 ± 2 °C)

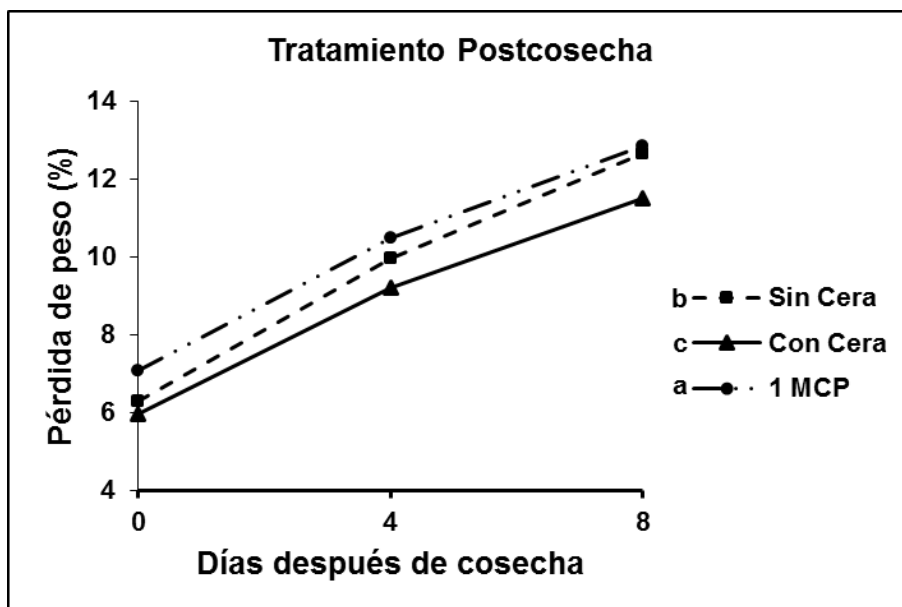


Figura 32. Efecto del tratamiento postcosecha sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^\circ\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^\circ\text{C}$)

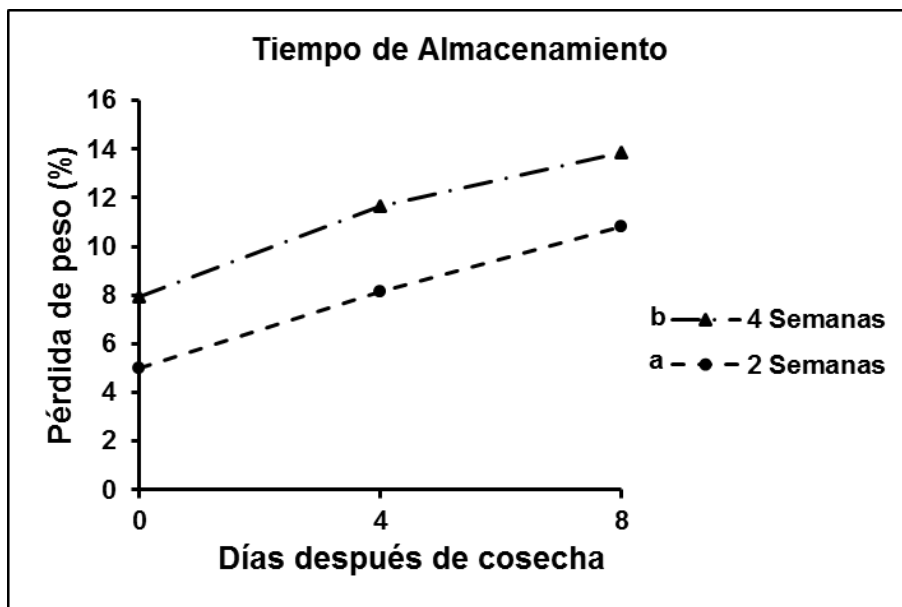


Figura 33. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso (%) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^\circ\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^\circ\text{C}$)

Acidez Titulable

De acuerdo con los resultados obtenidos, el % de ácido cítrico mostró diferencia estadística significativa ($p < 0.01$) en las tres variedades, resultando 'Colimón' con 7.40%, obteniendo el mayor % de ácido cítrico, en comparación con 'Colimex' y 'Lise' quienes alcanzaron un 7.23 % y 7.14 %, respectivamente, (Cuadro 16, Figura 34). En lo que se refiere al efecto del tratamiento, el que logró mantener un mayor porcentaje de éste ácido fueron aquellos frutos en los que se aplicó 1-MCP, logrando mantener un contenido de 10.14 %, respecto a los frutos donde no se aplicó ningún tratamiento, los cuales presentaron una concentración de ácido cítrico de 8.89 % (Figura 35). De acuerdo con el efecto tiempo de almacenamiento, se encontró diferencia significativa ($p < 0.01$), encontrando que conforme este avanza, disminuye el contenido de ácido cítrico (Figura 36). Al evaluar el efecto combinado de variedad*tratamiento sobre el contenido de ácido cítrico, se observó que hubo influencia sobre este parámetro, encontrando que la combinación 'Colimón' tratado con 1-MCP mantiene una mayor concentración de ácido cítrico. En lo que se refiere al factor de almacenamiento, se observó que conforme este se prolongó el % de ácido cítrico disminuyó; encontrando para las 2 semanas de almacenamiento a $9 \pm 1^\circ\text{C}$, un valor de 7.45 %. Para la semana 4 de almacenamiento el contenido disminuyó a 7.06 %. Se ha determinado que la acumulación de los ácidos orgánicos se lleva a cabo en las vacuolas y que la disminución de los mismos se encuentra relacionada al aumentar la síntesis de los ácidos en el ciclo de Krebs y en reacciones de descarboxilación (Terdwongworakul *et al.*, 2009). Después del almacenamiento, se observó que después de 8 días de exposición a temperatura de comercialización, la variedad 'Colimex' presentó el mayor contenido de ácido cítrico con 7.3 %, así como 'Colimón' y 'Lise' el menor contenido 7.1 %.

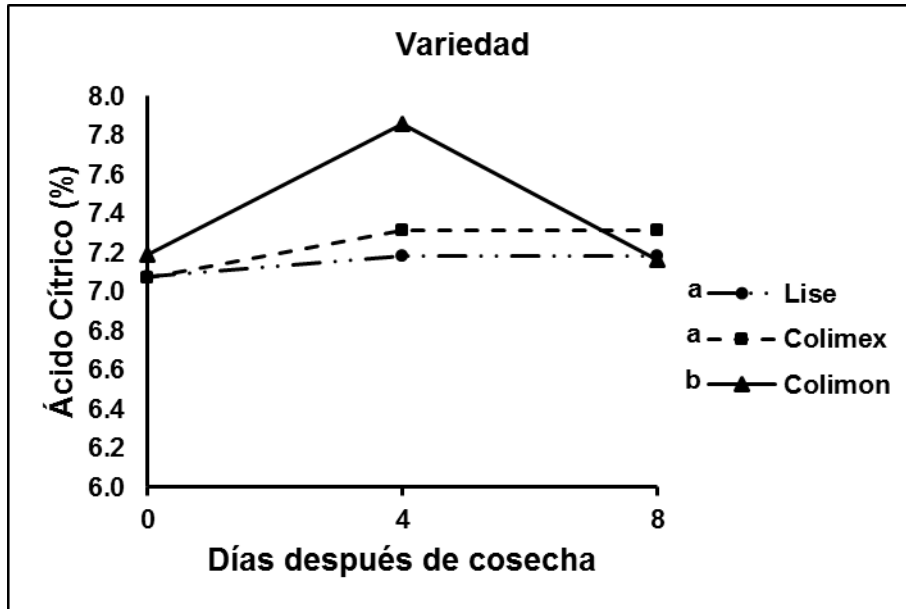


Figura 34. Efecto de la variedad sobre el contenido de ácido cítrico (%) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^\circ\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 1^\circ\text{C}$)

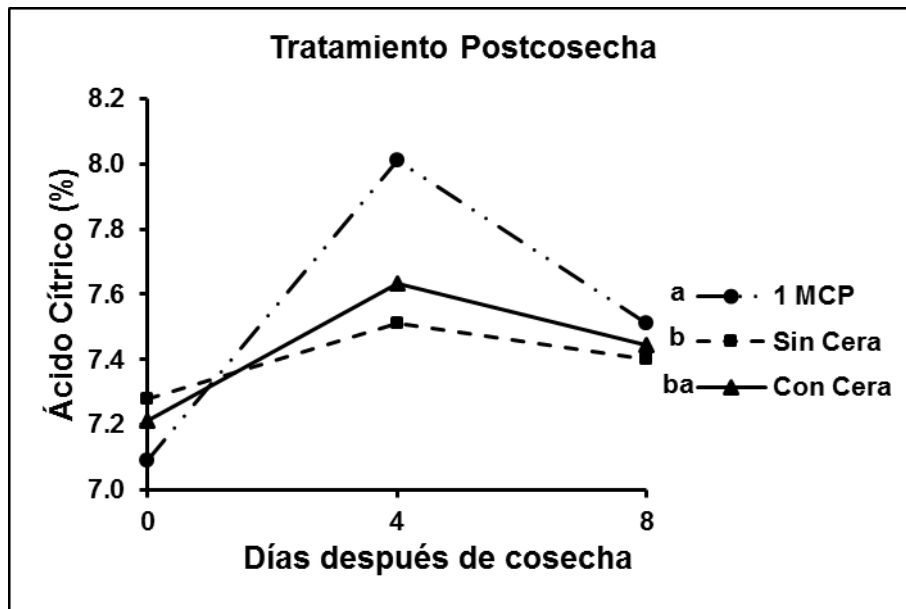


Figura 35. Efecto del tratamiento postcosecha sobre el contenido de ácido cítrico (%) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^\circ\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^\circ\text{C}$)

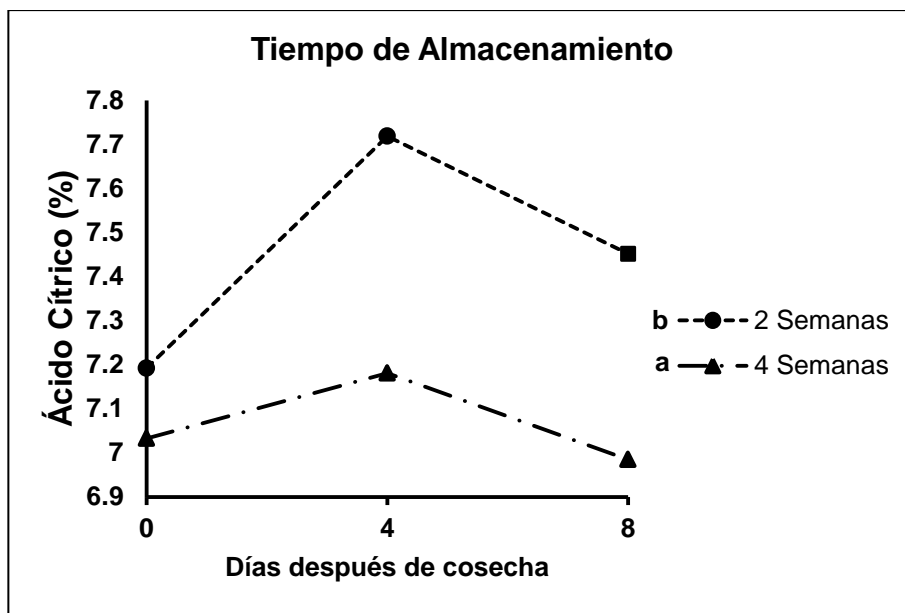


Figura 36. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de ácido cítrico (%) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), más 4 y 8 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$)

Sólidos Solubles Totales

De acuerdo con los factores variedad, tratamiento postcosecha y su combinación, no encontraron diferencias estadísticas significancia ($p < 0.05$) en la concentración de sólidos solubles. El contenido inicial fue en promedio de 7.5 % y conforme se prolongó el tiempo de almacenamiento, estos se incrementaron hasta 8.75 % tras 2 semanas de refrigeración, manteniéndose en 8.69 % después de 4 semanas. Después de aplicar los tratamientos, los frutos se almacenaron por un tiempo de 2 semanas, obteniendo a la salida una concentración de 8.74 %, 8.83% y 8.69%, para 'Colimón', 'Colimex' y 'Lise', respectivamente. Para las 4 semanas los contenidos se mantuvieron en 8.69 %, 8.66 % y 8.70 % para 'Colimex', 'Colimón' y 'Lise', respectivamente. A la salida del almacenamiento refrigerado y expuesto a condiciones de comercialización, se presentó un aumento significativo, alcanzando al día 4 8.75%. En frutos no climatéricos, la cosecha se realiza en un periodo cercano a la madurez de consumo. Los cítricos pertenecen a esta clasificación y el contenido de azúcar puede mostrar un aumento inicial durante el almacenamiento como resultado del metabolismo de los polisacáridos de la pared celular (Biolatto *et al.*,

2005). La interacción variedad*tratamiento Postcosecha*tiempo de evaluación en la variedad 'Colimex' sin Cera, fue la que presentó el mayor contenido de sólidos solubles (8.85%).

°Brix/%Ácido Cítrico

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza, se observó que hay diferencia estadística significativa en los factores variedad, tratamiento postcosecha y su interacción, asimismo en el tiempo de almacenamiento, interacción variedad*tiempo de almacenamiento y tiempo de evaluación. En este sentido, se observó que las variedades 'Colimex' (1.21) y 'Lise' (1.21), presentaron la mayor relación, alcanzando 'Colimón' 1.18. En cuanto al tratamiento que mejor relación de azúcar/ácido fue aquellos sin cera (1.21). Al prolongar el almacenamiento, se observó un aumento la relación sólidos solubles/ácido cítrico, alcanzando 1.18 a las 2 semanas y 1.23 para la semana 4. Conforme avanzó el periodo de evaluación dicha relación disminuyó de la salida (1.21) hasta 1.18 al día 4, e incrementándose para el término de la evaluación a 1.21.

Ácido Ascórbico o Vitamina C

La calidad nutricional de los alimentos durante el almacenamiento se ha convertido cada vez más en un problema de importancia. La pérdida de algunos nutrientes tales como el ácido ascórbico podría ser un factor crítico para la vida útil de algunos productos como en los jugos de cítricos (Hande, 2005). En el Cuadro 16 se puede observar que no hubo diferencia en el contenido de ácido ascórbico respecto al efecto variedad, así como en la interacción variedad*tratamiento postcosecha*tiempo de almacenamiento. Para el efecto de los tratamientos aplicados a los frutos de las tres variedades de limón mexicano, el tratamiento con 1-MCP fue quien presentó la menor pérdida de ácido ascórbico de 56.76 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo con respecto a los dos tratamientos con cera 52.79 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo y sin cera 54.25 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo (Figura 37). Es importante destacar que al evaluar el efecto combinado de variedad y tratamiento postcosecha sobre la conservación del ácido ascórbico, 'Lise' 1-MCP, conservó la

mayor concentración de éste ácido. Para el efecto tiempo de almacenamiento se observó que éste factor fue significativo ($p < 0.01$), alcanzando valores de 49.54 mg 100 g⁻¹ para la semana 2, encontrando un aumento en el contenido de éste ácido hasta 59.65 mg 100 g⁻¹ para la semana 4. La interacción donde se obtuvo el mayor contenido de ésta vitamina correspondió a 'Lise' con 53.33 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo para la semana 2; para las 4 semanas el contenido de vitamina C, resulto mayor en 'Colimex' y 'Colimón' con 60.44 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo y 60.39 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo, respectivamente (Figura 38). Con estos datos se observó que la refrigeración logró mantener la calidad del fruto respecto a esta variable; sin embargo, tras la exposición a las condiciones de comercialización (22±2°C), después del almacenamiento en condiciones de refrigeración, a la salida se mostró una mayor concentración alcanzando 57.14 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo, seguido de una disminución significativa para el día 4 (52.63 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo) y no mostrando efecto significativo para el día 8 (54.02 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo). Estudios realizados por Burdurlu y Karadeniz (2005), encontraron que en concentrados de jugo de limón (pH 1.82), la vitamina C se descompone fácilmente en soluciones ácidas, mostrando una mayor pérdida de ácido ascórbico en comparación con otros cítricos como la tangerina, naranja y pomelo. En particular, los cítricos constituyen una importante fuente nutricional de Vitamina C. El ácido ascórbico es el mayor responsable de la capacidad antioxidante de los cítricos, entre ellos el limón. Estas respuestas sugieren un comportamiento de variaciones entre variedades como respuesta a la incidencia de daños en la cáscara y por tanto a cambios en el mecanismo de transporte de gases; además de un metabolismo particular entre las mismas (Muñoz *et al.*, 2010). A nivel nutricional, el contenido de ácido ascórbico de las frutas y verduras disminuye con la aparición de altas temperaturas y almacenamiento prolongado (Lee y Kader, 2000). De igual manera, el almacenamiento a bajas temperaturas puede acelerar la pérdida de vitamina C en frutas sensibles al frío, antes de que los daños por frío sean evidentes externamente (Thompson, 2004).

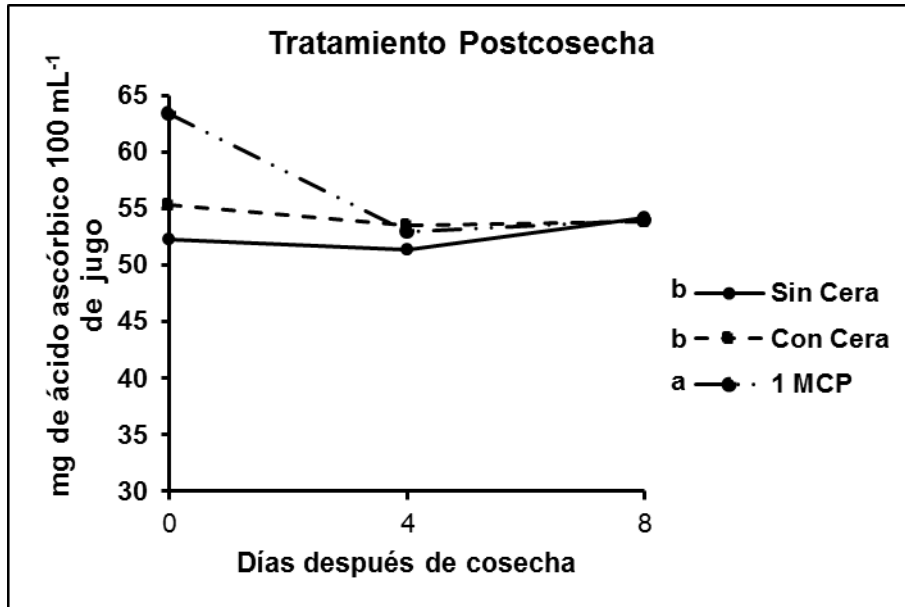


Figura 37. Efecto del tratamiento postcosecha sobre el contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas refrigeración (9±1°C), más 4 y 8 días a temperatura ambiente (22±2°C)

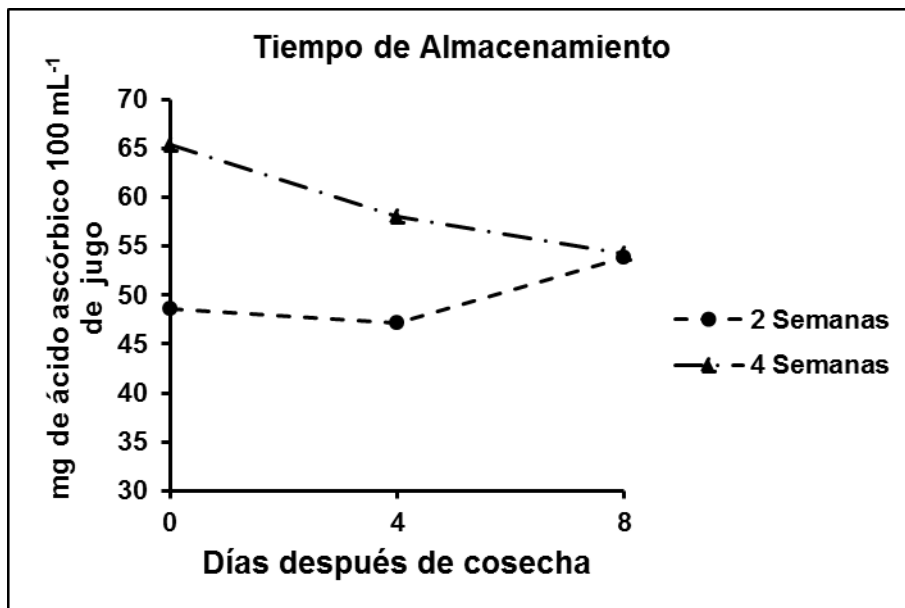


Figura 38. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo) de frutos de limón mexicano, después de 4 semanas a refrigeración (9±1°C), más 4 y 8 días a temperatura ambiente (22±2°C)

Clorofila

En lo que respecta a la variable clorofila, mostró diferencia estadística significativa ($p < 0.01$) el efecto variedad, donde 'Colimón' presentó el menor contenido ($0.64 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), con relación a 'Colimex' y 'Lise' con $0.81 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ y $0.83 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. De igual manera, el factor de almacenamiento, reflejó que el contenido de clorofila en la cascara del fruto presentó una disminución conforme se prolongó el tiempo de almacenaje; en la semana 2 se alcanzó un valor de $0.80 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, disminuyendo para la semana 4 hasta $0.72 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$. Esta disminución de pérdida de clorofila constituye un cambio relacionado con los fenómenos de maduración y senescencia.

Acetaldehído

El acetaldehído es un componente de aroma natural en casi todas las frutas, el cual se acumula durante la maduración e incluso bajo condiciones anaeróbicas (Fidler, 1968). Es importante mencionar que no se presentó etanol en condiciones de refrigeración. Para acetaldehídos, de acuerdo con el análisis de varianza (cuadro 15), el factor tiempo de almacenamiento resultó significativo ($p < 0.01$) donde se observaron diferencias en el contenido de acetaldehído a lo largo del período de almacenamiento, encontrando ($2.35 \mu\text{g } 100^{-1} \text{ ml de jugo}$) y ($3.52 \mu\text{g } 100^{-1} \text{ ml de jugo}$), para la semana 2 y 4, respectivamente. De acuerdo con Mejer *et al* (1968), la producción de etanol y acetaldehído aumenta con la duración de almacenamiento y la temperatura. Con respecto a la combinación variedad*tiempo de almacenamiento la variedad que presentó la menor cantidad de acetaldehído en la semana 2 fue 'Lise'; para la semana 4 la variedad Colimex. Ke y Kader (1990) estimó que 20 y $1000 \mu\text{L L}^{-1}$ de acetaldehído y etanol, respectivamente, son las concentraciones crítica arriba del se puede inducir aromas y sabores desagradables en Naranjas 'Valencia'; en lo que se refiere a limones dicha percepción se obtiene a menores concentraciones debido al bajo contenido de azúcar. En lo que se refiere a los días de evaluación se presentó un mayor contenido de acetaldehído cuando los frutos se

expusieron a condiciones de comercialización, encontrando que de la salida de refrigeración hasta los 4 días a condiciones de comercialización, se incrementó de $2.59 \mu\text{g } 100^{-1} \text{ ml}$ de jugo a $3.41 \mu\text{g } 100^{-1} \text{ ml}$ de jugo, respectivamente.

Daños por Frío (DF)

Los cítricos, así como otros frutos tropicales y subtropicales, presentan sensibilidad a las bajas temperaturas, que se manifiestan en distintas alteraciones y manchas en la piel, conocidas generalmente como lesión de frío, daño por frío o chilling injury, que pueden implicar pérdida de calidad comercial. En general, las naranjas y mandarinas son menos susceptibles a los daños por frío, que las limas, limones y pomelos. Los daños por frío (DPF) se detectaron de manera variable en las tres variedades de limón mexicano; de igual manera al evaluar el efecto de cada tratamiento sobre la sensibilidad, en frutos tratados con cera y 1-MCP almacenados a $9\pm 1^\circ\text{C}$ por 4 semanas.

Los desórdenes fisiológicos, observados, que afectaron la apariencia externa de los frutos de las tres variedades, fueron el picado o "pitting", que se manifestó en la piel, por depresiones redondeadas y que se oscurecen a medida que avanza el deterioro. Se evaluó la incidencia de picado para cada variedad y tratamiento aplicado, expresándose el resultado como porcentaje de frutos dañados. Se observó que al prolongar el periodo de almacenamiento aumenta la incidencia de daños por frío (picado). Durante la semana 2, no se presentaron daños en ninguna de las variedades estudiadas. Para la semana 4, los daños se observaron después de exponer los frutos a temperaturas de comercialización, donde se notó diferente severidad.

En lo que se refiere a la variedad Lise, los DPF solo se detectaron en los frutos tratados con cera y 1-MCP (Cuadro 12), siendo de carácter ligero, siendo enmascarados en frutos sin cera por efecto de deshidratación de la cáscara.

Cuadro 12. Incidencia de daños por frío (%) en frutos de limón mexicano 'Lise', almacenados a $9\pm 1^{\circ}\text{C}$ por 4 semanas + 8 días al ambiente.

Índice de daño	Sin Cera	Con Cera	1 MCP
Severo			
Moderado		2	
Ligero		2	3
Sano	20	16	17
Total Dañados		4	3
Total de Frutos	20	20	20
Porcentaje de Frutos Daños	0%	16.66	15.0

En lo que se refiere a la variedad Colimex, los DPF se presentaron en los frutos sin cera, con cera y 1 MCP (cuadro 13). Encontrando que los frutos tratados con 1-MCP, fueron los que presentaron el mayor porcentaje de frutos dañados de carácter ligero, seguido de los frutos sin cera los cuales presentaron los tres niveles de daños, por último los frutos con cera mostraron daños todos del nivel ligero.

Cuadro 13. Incidencia de daños por frío (%) en frutos de limón mexicano 'Colimex', almacenados a $9\pm 1^{\circ}\text{C}$ por 4 semanas + 8 días al ambiente.

Índice de daño	Sin Cera	Con Cera	1 MCP
Severo	1	0	0
Moderado	3	0	0
Ligero	10	11	21
Sano	8	10	0
Total Dañados	14	11	21
Total de Frutos	22	21	21
Porcentaje de Frutos Daños	63.63	52.38	100%

En lo que se refiere a 'Colimón', los DPF solo se presentaron en los frutos sin cera, con cera y 1 MCP (cuadro 14). Encontrando que los frutos donde no se aplicó cera, fueron los que presentaron el mayor porcentaje de frutos dañados, en su mayoría daños del nivel ligero.

Cuadro 14. Incidencia de daños por frío (%) en frutos de limón mexicano 'Colimon', almacenados a $9\pm 1^{\circ}\text{C}$ por 4 semanas + 8 días al ambiente.

Índice de daño	Sin Cera	Con Cera	1 Mcp
Severo	4	1	1
Moderado	5	2	2
Ligero	9	0	2
Sano	11	26	23
Total Dañados	18	3	5
Total de Frutos	29	29	28
Porcentaje de Frutos Daños	62.06	11.53	21.73

Cuadro 15. Análisis de varianza (P-value) para cada una de las variables analizada en condiciones de almacenamiento de refrigeración

FACTOR	Índice de Color	Pérdida de Peso (%)	AT (% Ácido Cítrico)	Sólidos Solubles (%)	Relación Azúcar/Ácido	Ácido Ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de Jugo)	Clorofila (mg 100 g⁻¹)	Acetaldehído (µg 100⁻¹ ml de jugo)
Variedad (VAR)	<0.0001*	<0.0001**	<0.0001**	0.1125 ^{NS}	0.0114*	0.1310 ^{NS}	<0.0001**	0.9170 ^{NS}
Tratamiento Postcosecha (TRAT POST)	0.1623 ^{NS}	<0.0001**	0.0374*	0.1984 ^{NS}	0.0379*	0.0009**	0.8132 ^{NS}	0.1931 ^{NS}
VAR*TRAT POST	0.2125 ^{NS}	0.0356*	0.0050**	0.0593 ^{NS}	0.0093**	<0.0001**	0.2134 ^{NS}	0.3816 ^{NS}
Tiempo de Almacenaje (T ALM)	<0.0001*	<0.0001**	<0.0001**	0.0024**	<0.0001**	<0.0001**	0.0070**	<0.0001**
VAR* T ALM	0.2034 ^{NS}	0.0003**	<0.0001**	0.0040**	0.0122*	0.0001**	0.0809 ^{NS}	0.0009**
TRAT POST*T ALM	0.8037 ^{NS}	0.3266 ^{NS}	0.5790 ^{NS}	0.5238 ^{NS}	0.7495 ^{NS}	0.0199*	0.7022 ^{NS}	0.1647 ^{NS}
VAR*POST*T ALM	0.9126 ^{NS}	0.8366 ^{NS}	0.0385*	0.1448 ^{NS}	0.3589 ^{NS}	0.3627 ^{NS}	0.8153 ^{NS}	0.4767 ^{NS}
Tiempo de Evaluación T EVAL	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	0.0042**	<0.0001**	0.0100**	<0.0001**
VAR*EVAL	0.0615 ^{NS}	<0.0001**	<0.0001**	0.0158*	0.0005**	<0.0001**	0.0649 ^{NS}	0.1889 ^{NS}
TRAT POST* T EVAL	0.9186 ^{NS}	0.0006**	0.1288 ^{NS}	0.0016**	0.6460 ^{NS}	<0.0001**	0.6624 ^{NS}	0.5250 ^{NS}
VAR*TRAT POST*T EVAL	0.0490*	0.1756 ^{NS}	0.0201*	0.0033**	0.0020**	<0.0001**	0.3261 ^{NS}	0.5144 ^{NS}
T ALM* T EVAL	0.2254 ^{NS}	<0.0001**	0.0001**	0.0024**	0.0861 ^{NS}	<0.0001**	0.2435 ^{NS}	0.1326 ^{NS}
VAR*T ALM*T EVAL	0.2853 ^{NS}	0.0126*	<0.0001**	0.0236*	<0.0001**	<0.0001**	0.0011**	0.0266*
TRAT POST*T ALM*EVAL	0.7756 ^{NS}	0.0059**	0.0444*	0.0111*	0.4432 ^{NS}	0.0376*	0.6345 ^{NS}	0.3327 ^{NS}

^{NS}=No significativo, *=Significativo al 95% de probabilidad **=Significativo al 99 % de probabilidad

Cuadro 16. Análisis de varianza (P-value) para las variables estudiadas de los efectos principales sobre la calidad de frutos de limón mexicano, después 2 semanas de almacenamiento

FACTOR	Índice de Color	Pérdida de Peso (%)	AT (% de ácido cítrico)	Sólidos Solubles (%)	Relación azúcar/ácido	Ácido Ascórbico (mg de ácido ascórbico 100 mL ⁻¹ de Jugo)	Clorofila (mg 100 mL ⁻¹)	Acetaldehído (µg 100 ⁻¹ ml de jugo)
VARIEDAD								
Colimex	-11.00b	9.8057b	7.23b	8.72a	1.21a	54.25a	0.81a	2.91a
Colimon	-9.50a	10.28a	7.40a	7.75a	1.18b	53.82a	0.64b	2.93a
Lise	-12.89c	8.58c	7.14b	8.69a	1.21a	55.72a	0.83a	2.96a
TRAMIENTO POSTCOSECHA								
Con cera	-11.04a	8.89c	7.19b	8.73a	1.21a	52.79b	0.76a	2.82a
Sin cera	-10.93a	9.63b	7.26b	8.73a	1.20ba	54.25b	0.75a	2.95a
1 MCP	-11.43a	10.14a	7.32a	8.69a	1.19b	56.76a	0.77a	3.03a
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO								
2 Semanas	-12.22b	7.97a	7.4a	8.75a	1.18b	49.54b	0.80a	2.35b
4 Semanas	-10.04a	11.14a	7.0b	8.69b	1.23a	59.65a	0.72b	2.52a
TIEMPO DE EVALUACIÓN								
0 días	-13.17c	6.44c	7.11b	8.63b	1.21a	57.14a	0.80a	2.59b
4 días	-10.81b	9.89b	7.45a	8.78a	1.18b	52.63b	0.71b	3.41a
8 días	-9.41a	12.33a	7.21b	8.75a	1.21a	54.02b	0.77ba	2.79b

Medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

6. CONCLUSIONES

1. En los frutos de la primera cosecha, la interacción *Variedad*Tratamiento Postcosecha*Tiempo de evaluación*, resultó no significativa para ninguna de las variables evaluadas, lo que implica que las tres variedades se comportan de manera similar a las condiciones ambientales.
2. De acuerdo con la interacción *Variedad*Tratamiento Postcosecha*, únicamente las pérdidas de peso son significativas, en cuyo caso 'Colimex' con cera tiene las menores pérdidas. Por su parte, en la interacción *Variedad*tiempo de Evaluación* las variables índice de color, pérdida de peso y relación azúcar/ácido, presentan cambios significativos, principalmente a través tiempo de evaluación, siendo la calidad, en cuanto a la apariencia y sabor, afectada por el avance de la senescencia a partir del cuatro días de almacenamiento a la ambiente. Con base en la interacción *Tratamiento Postcosecha*Tiempo de Evaluación*, 'Lise' con cera mantiene un mayor contenido de vitamina C, igualmente a los 4 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$).
3. En estos mismos frutos almacenados bajo condiciones de refrigeración ($9\pm 1^{\circ}\text{C}$), tampoco se presentaron diferencias significativas entre las variables evaluadas en la interacción *Variedad*Tratamiento Postcosecha*Tiempo de Evaluación*, por lo que su comportamiento es similar. Por otro lado diferencias estadísticas significativas se presentaron por la interacción *Variedad*Tratamiento Postcosecha* en cuanto al índice de color, siendo 'Colimex' y 'Colimón' las que mantienen una mayor tonalidad más verde. En la interacción *Variedad*Tiempo de Evaluación*, las variables índice de color, pérdida de peso y vitamina C, presentaron diferencias significativas. Únicamente a la salida del almacenamiento se presentan características aceptables con fines de comercialización. Por su parte, la interacción *Tratamiento Postcosecha*Tiempo de Evaluación*, el acondicionamiento sin cera presenta las mayores pérdidas de peso y tonalidad menos verdes, por lo

que este tratamiento con fines de control de daños por frío afecta significativamente la calidad de los frutos.

4. Los frutos de la segunda cosecha, en cuanto a la interacción *Variedad*Tratamiento Postcosecha*Tiempo de Evaluación* presentan diferencias significativas en índice de color y contenido de vitamina C, almacenados al ambiente siendo la variedad Lise quien mantiene una tonalidad más verde y un mayor contenido de vitamina C; siendo limitante para el almacenamiento por ocho días las altas pérdidas de peso. Así mismo, los tratamientos aplicados no afectaron la calidad de los frutos al no presentarse diferencia significativa en la interacción *Tratamiento Postcosecha*Tiempo de Evaluación*.
5. Los frutos de la variedad Lise de la segunda cosecha presentaron a la salida de 2 semanas de almacenamiento a $9\pm 1^{\circ}\text{C}$, una mayor tonalidad verde, menores pérdidas de peso, mayor contenido de vitamina C, sin embargo, siendo también limitante para un prolongado tiempo de exposición de almacenamiento a las condiciones de comercialización ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$), las altas pérdidas de peso.
6. En general los daños por frío no afectaron la calidad externa de los frutos, presentándose sólo síntomas de carácter ligero principalmente tras 4 semanas de refrigeración y 8 días al ambiente; presentando variabilidad entre las tres variedades.
7. La variable que presentó cambios importantes a través del tiempo fue vitamina C y que podría ser un factor crítico para la calidad de los frutos.
8. En general la variedad Lise fue quien presentó un deterioro más lento en cuanto a características internas y menores pérdidas de peso en las dos condiciones estudiadas y en los dos experimentos.

7. RECOMENDACIONES

Evaluar diferentes tipos de recubrimientos para evitar la pérdida de peso, y así reducir el ritmo de envejecimiento y pudriciones, aumentando de este modo su vida útil de anaquel.

Evaluar otros métodos para detectar daños por frío, así mismo introducir otros parámetros de la calidad como el contenido de formol y contenido de limoneno.

8. BIBLIOGRAFIA

- Agusti, M., 2004, Citricultura, Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Artés, F. 1999. Avances en los tratamientos post-cosecha para la conservación en fresco de limón y pomelos. Levante Agrícola, Especial post-cosecha. (38), 348:289- 294.
- Artes-Hernández y Artés F. 2008. Modificación de la atmosfera y otras alternativas a los agroquímicos para preservar la calidad en su frigoconservación. En: Tópicos en calidad y postcosecha de frutos. Editores: Nascimento. Campinas (Brasil). Cap. 7:93-109.
- AOAC. 1984. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 13 th. Ed. Arlington, V. 1023p.
- AOAC. 1988. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 14 th. Ed. Arlington, V. 1023p.
- Aung, L.H., Obenland, D.M., Houck, L.G. 1998. Conditioning and heat treatments influence flavonoid soluble sugars of lemon. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 73(3): 399-402.
- Balandran-Quintana, R. R.; Mendoza-Wilson, A. Ma. Gardea-Bejar, A. A. Vargas-Arispuro, I. y Martinez-Tellez, M.A. 2003. Irreversible chilling injury in zucchini squash (*Cucúrbita pepo* L.) could be a programmed even long before the visible symptoms are evidents. Biochem. Biophys. Res. Commun. 307: 553-557.
- Belitz, W. G. 1997. Química de los alimentos. Editorial ACRIBIA, Zaragoza, España. 567 páginas.
- Ben-Yehoshua, S.; Burg S.P.; Young R. 1985. Resistance of citrus fruit to mass transport of water vapour and other gases. Plant Physiol. 79, 1048.
- Biolatto. A., D. E. Vazquez., A. M. Sancho., F.J. Carduza and N. A. Pensel. 2005. Effect of commercial conditioning and cold quarantine storage treatments on fruit quality of grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.). Postharvest Biology and Technology. 35: 167-176.
- Burdurlu, H.S., Koca, N., Karadeniz, F. 2005. Degradation of vitamin C citrus juice concentrates during storage. Journal of Food Engineering.74 (2006) 211-216.
- Burton, W.G. 1992. Post-Harvest physiology of food crops. UNSW Press. USA. 352 pp.

- Cuquerella, J.; Salvador, A.; Monterde, A.; Navarro, P.; Martínez-Jávega, J.M. 2004. Influencia de los tratamientos postcosecha en la evolución de los parámetros de calidad de mandarinas y naranjas. *Rev. Agrícola*. Ed. COITA de Valencia y Castellón 12, 24-28.
- Davies, P.L and W.G. Chace Jr. 1969. Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of headspace. *HortScience*. 4:117-119.
- Day, B. 1993. Fruit and vegetables. En *Principles and applications of modified atmosphere packaging of foods*. Ed. R. Parry, Blackie Academic & Professional, London, UK, pp. 115-133.
- Echeverría, E.D.; Ismail, M. 1987. Changes in sugar and acids of citrus fruits during storage. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 100, 50-52.
- FOASTAT (Food and Agriculture Organization, Basic Statistical). 2009. Versión electrónica. Disponible en: <http://www.fao.org>. Fecha de consulta: mayo de 2012.
- Guardiola, J.L.; Agustí, M.; Barberá, J.; Sanz, A. 1981. Influencia de ácido giberelico en la maduración y senescencia del fruto de mandarina clementina (*Citrus reticulata*, Blanco). *Rev. Agroquim. Tec. Alim.* 21: 225-239.
- Goldschmidt, E. E. 1988. Regulatory aspects of cloro-chromoplast interconversions in senescing fruit peel. *Hort. Sci.* 37:123-130.
- Hagenmaier, R.D. y Shaw, P.E. 1991a. Permeability of Coatings Made with Emulsified Polyethylene Wax. *J. Agric. Food. Chem.* 39:1705-1708.
- Hagenmaier, R.D. y Shaw, P.E. 1991b. Permeability of Shellac Coatings to Gases and Water Vapor. *J. Agric. Food. Chem.* 39:825-829.
- Harms, C. 1992. Engineering genetic disease Resistance into crops: Biotechnological approaches to crop protection. *Crop protection*, 11, 291-306.
- Hatton, T.T. 1990. Reduction of chilling injury with temperature manipulation. En: *Chilling injury on Horticultural crops*. Wang, C. Y. Ed. Boca Raton, CRC Press. Florida. U.S.A. p. 269-280.
- Hernández-Sánchez E. M. 2010. Antecedentes y situación actual del VTC y el pulgón café de los cítricos (*Toxoptera citricida*). Evento de autorización y capacitación de profesionales fitosanitarios en "plagas cuarentenarias de los cítricos. Puerto Vallarta, Jal Del 23 al 26 de marzo.
- Hutchings J. B. 1999. *Food Color and Appearance*. Second Edition. Ed. Aspen. Usa. 610 páginas.

- Jiménez-Cuesta, M., Cuquerella, J., Martínez-Jávega. 1983. Los recubrimientos plásticos en la comercialización de los cítricos. *Levante Agrícola*, nº.247-248: 168-172.
- Kader, A.A. 2002. Postharvest biology and technology: an overview. En: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Ed. A.A. Kader, Division of Agricultural and Natural Resources. pp 39-48.
- Kader, A.A. 1992. Modified atmosphere during transport and storage. En *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Ed. A. A. Kader, Division of Agriculture natural Resources, University of California 3311, 85-92.
- Ke, D., Zhou, L., y Kader, A. A. 1994. Mode of oxygen and carbon dioxide action on strawberry ester biosynthesis. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119: 971-975.
- Ke, D., Kader, A.A. 1990. Tolerance of "Valencia" oranges to controlled atmospheres as determine by physiological responses and quality attributes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115 (5): 779-783.
- Kitinoja, L. y Kader, A.A. 2003. *Técnicas de Manejo Postcosecha a pequeña escala: Manual para los Productos Hortofrutícolas*. 4a Ed. Univ. Calif. Series Horticultura No. 8. Universidad de California Davis. California, EUA.
- Larsen, M. y Watkins, C. B. 1995. Firmness and concentration of acetaldehyde, ethyl acetate and ethanol strawberries stored in controlled and modified atmospheres. *Postharv. Biol. Technol.* 5: 39-50.
- Lee K.; Kader A.A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol Technol* 20, 207-220.
- NMX-FF-087 SCFI-2001. *Productos alimenticios no industrializados para el consumo humano-fruta fresca-limón mexicano (citrus aurantifolia Swingle)*.
- Medina-Urrutia, V.M.; Robles-González. 2004. Situación actual y perspectivas del limón mexicano. In. *Simposium internacional de citricultura*, 2. Puerto Escondido. Memorias Puerto Escondido COECIO, 2004. p 185-206.
- Mejer, G.E., Ponte, E., Vázquez, D.E. 2004. Contenido de etanol y acetaldehído en naranjas y mandarinas durante la postcosecha. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*. Vol 33, num 001. Buenos Aires, Argentina, pp. 135-150.
- Martínez-Jávega, J.M., Cuquerella, J., Del Río, M.A., Navarro, P. 1997. Estudios de tratamientos cuarentenarios mediante el uso de bajas temperaturas en frutos cítricos. *Reunión Internacional CYTED. Proyecto XI.10, La Habana (Cuba)*, p: 15-23. Ed. C. Saucedo y R. Báez.

- Martínez-Jávega, J.M. 1999. Uso de las bajas temperaturas para exportación de frutas cítricas españolas. Simposio Internacional "Exigencias cuarentenarias para la exportación de frutas tropicales y subtropicales". Ed. Alves, R.E., Veloz, C.S. p: 127-141. Fortaleza (Brasil).
- Martínez-Jávega, J.M., J. Cuquerella, M.A del Río. 2000. Investigaciones actuales en tecnología postcosecha en frutos cítricos. *Levante Agrícola. Especial de postcosecha.* 352:216-220.
- Mañez. F. V. 1997. Normalización e inspección de frutos cítricos españoles con tratamiento de cuarentena, p. 1-10.
- Mishra, V.K., Gamage, T.V. 2007. Postharvest physiology and of fruits and vegetables. 19-43. En: *Handbook of Food Preservation* Autor M. Shafiur Rahman. Published by CRC press.
- Muñoz Lazcano, A; Saucedo Veloz, C; García Osorio, C; Robles González, M. 2011. Evaluación de la calidad y tiempo de almacenamiento del fruto de tres variedades de limón mexicano. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 12, núm. 2, pp. 156-163, Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. México.
- McGuire R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27:1254-1255
- Osorio-Mora, O. y Zacarías, L. 2000. Efecto de las bajas temperaturas en la biosíntesis de etileno en discos de flavedo de la mandarina 'Fortune'. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha.* 3: 53-64.
- Pappu, H. R., S. S. Pappu, T. Kano, M. Korzumi, M. Cambra, P. Moreno, H. J. Su, S. M. Garnsey, R. F. Lee and C. L. Niblett .1995. Mutagenic Analysis and localization of a highly conserved epitope near the amino terminal end of the citrus tristeza closterovirus capsid protein. *Phytopathology.* 85: 1311-1315.
- Pérez-Gago, M, Krochta, j., 2002. Driving temperature effect on water vapour permeability and mechanical properties of whey protein-lipid emulsion films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 49. p. 2308-2312.
- Robles-González, M.; Carrillo-Mendrano, S.; Manzanilla-Ramírez, J.; Velázquez-Monreal, J.; Medina-Urrutia, V.; 2010. Mejoramiento genético de limón mexicano: avances y perspectivas. En: *Simposium Internacional Citrícola.* Noviembre, 2010. Tecoman, Colima, p. 93-110.
- Rodríguez, R. E., Hernández, S.M., y Díaz, R.C. 2007. *Food Chemistry.* Spain. 106(3); 1046-1056.

- Sala, J. M. y Lafuente, M. T. 1999. Catalase in the heat-induced chilling tolerance of cold-stored hybrid fortune mandarin fruits. *J. Agric. Food Chem.* 47: 2410-2414.
- Saucedo-Veloz, C. y Medina-Urrutia, V. 2008. Problemas del manejo postcosecha y comercialización de limas acidas en México. En: *Tópicos en calidad y postcosecha de frutos*. Editores: Nascimento. Campinas (Brasil). Cap. 7:93-109.
- SIACON.2013. Sistema de información Agroalimentaria de Consulta. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=181&Itemid=426. Consultado en mayo de 2013.
- SIAP, 2013. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=181&Itemid=426. Consultado en abril de 2013.
- SDR. 2005. Secretaria de Desarrollo Rural. Disponible en: <http://www.cesavecol.com.mx/archivos/LIMON.pdf>. Consultado en agosto de 2012.
- Terdwongworakul. A., A. Puangsombat, and S. Pathaveerat, 2009, Qualitative and Quantitative evaluation of pomelo maturity using multivariate combination of chemical and physical properties, *Journal of Experimental Botany*, 40:584–605.
- Ting, S. V and Attaway J, A. 1980. Citrus fruits. En: A.C. Ed, Hulme. *The Biochemistry of fruits and Their Products*. Academic Press. Inc. London. pp. 107-169.
- Thompson A.K. 2004. *Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables*. CAB Int, Wallingford, UK, pp 56-70.
- Viloria, Z; J. W. Grosser and B. Bracho. 2005. Immature embryo rescue, culture and seedling development of acid citrus fruit derived from interploid hybridization. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 82: 159-16