

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y
PRODUCTIVIDAD**

FRUTICULTURA

**DETERMINACION DEL TIEMPO DE
FRIGOCONSERVACION Y CALIDAD DE FRUTOS DE
LIMON MEXICANO DE CLONES SIN ESPINA Y SIN
SEMILLA**

ANA ANGÉLICA MUÑOZ LAZCANO

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2011

La presente tesis titulada: “**DETERMINACION DEL TIEMPO DE FRIGOCONSERVACION Y CALIDAD DE FRUTOS DE LIMON MEXICANO DE CLONES SIN ESPINA Y SIN SEMILLA**”, realizada por la alumna **Ana Angélica Muñoz Lazcano**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



Dr. CRESCENCIANO SAUCEDO VELOZ

ASESOR:



Dra. MARTHA ELVA RAMIREZ GUZMAN

ASESOR:



M.C. CECILIA GARCÍA OSORIO

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, Septiembre 2011

RESUMEN

DETERMINACION DEL TIEMPO DE FRIGOCONSERVACION Y CALIDAD DE FRUTOS DE LIMON MEXICANO DE CLONES SIN ESPINA Y SIN SEMILLA

Ana Angélica Muñoz Lazcano, MC.
Colegio de Postgraduados, 2011

En México se producen cerca de 1.3 millones de toneladas en 146,273.92 Ha que representan ingresos de aproximadamente cinco millones de pesos de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle). La variedad más comercial de este limón proviene de un árbol con espinas y presenta semillas, y a pesar de ser de una calidad interna excelente debido a estas características físicas, se dificulta el manejo poscosecha de éste, presentándose pérdidas de hasta el 50%; es por ello que ante esta situación se han colectado variedades provenientes de mutaciones naturales. Estas variedades son 'Lise' (con semillas y sin espinas), 'Colimon' (con espinas y sin semilla) y 'Colimex' (con semillas y con espinas). A pesar que se ha estudiado a fondo la parte del manejo de cultivo de estas variedades, no se tienen estudios de la calidad poscosecha y la influencia de sus características en la calidad y en los periodos de frigoconservación. En el presente trabajo se buscó determinar la calidad de estos frutos y el tiempo de frigoconservación en base a las principales variables estudiadas para determinar calidad (SST, %acidez, color, ácido ascórbico ó Vitamina C, %pérdida de peso y °Bx/acidez). Se encontró que los frutos provenientes de árboles sin espinas presentan mayor tiempo de frigoservación. Por otro lado los frutos sin semilla y sin espinas presentan una calidad externa en cuanto a color y textura mejor respecto a los frutos con semilla y esta se conserva por más tiempo en condiciones ambientales y en refrigeración. Sin embargo los frutos con semilla presentan una calidad interna mejor especialmente en lo que se refiere a acidez y a la relación °Bx/acidez que determinan el sabor del fruto. Por otro lado la variable que se ve más afectada respecto al tiempo incluso en condiciones de refrigeración es la Vitamina C, ya que se deteriora fácilmente.

Palabras clave: daños por frío, variedad, mutación natural, pérdidas poscosecha

ABSTRACT

DETERMINATION OF TIME COLD STORAGE AND QUALITY OF CLONES MEXICAN LIMES WITHOUT SEEDS AND SPINES

Ana Angélica Muñoz Lazcano, MC.
Colegio de Postgraduados, 2011

Mexico produces about 1.3 million tonnes of Mexican limes (*Citrus aurantifolia* Swingle) in 146,274.92 Ha representing incomes about five million pesos. The more commercial variety of this lemon comes from a tree with spines and the fruit has seeds; despite an excellent internal quality due to these physical characteristics are difficult post-harvest handling of it, have a loss of up to 50% is so that in this situation varieties have been collected from natural mutations. These varieties are 'Lise' (with seeds and boneless), 'Colimon' (with bones and seeded) and 'Colimex' (with seeds and spines). Although it has been studied in depth the management of the cultivation of these varieties, there are no studies on the postharvest quality and influence of its kind in quality and in periods of cold storage. In the present study sought to determine the quality of these fruits and cold storage time based on the main variables studied to determine quality (SST, citric acid, color, ascorbic acid or Vitamin C, % weight loss and ° Bx / acidity). It was found that fruits from trees without spines presented cold storage time longer. Moreover seedless fruits have an external quality in color and texture better about the fruits with seeds and this is retained longer in environmental conditions and refrigeration. However fruits with seeds have a better internal quality especially with regard to acidity and the relationship ° Bx / acidity that determine the flavor of the fruit. On the other hand the variable that is most affected over time even under refrigeration is vitamin C, as it deteriorates easily.

Key words: cold damage, variety, natural mutation, losing postharvest

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el apoyo económico para completar esta nueva etapa académica de mi vida.

Al **Colegio de Posgraduados** por brindarme las facilidades del uso de las instalaciones y por las enseñanzas a través de los diferentes profesores durante estos dos años.

Al **Dr. Crescenciano Saucedo Veloz** por la dirección de la investigación, profesionalismo, apoyo incondicional durante todo momento en el desarrollo académico .

A la **Dra. Martha Elva Ramírez Guzmán** por la paciencia durante el desarrollo de esta tesis y sobre todo por las aportaciones en la parte estadística de este trabajo.

A la **M.C. Cecilia García Osorio** por sus valiosas sugerencias para mejorar el contenido del texto del presente trabajo.

Al **Dr. Manuel Robles González** quien proporciono las muestras de las variedades de limón mexicano desarrolladas en el Campo experimental del INIFAP localizado en Tecomán Colima, México.

A **Ma. Del Rocío Cuellar Valdes** por todo el apoyo brindado para realizar los trámites para presentar el examen, así como sus sabios consejos y apoyo durante estos dos años en el Colegio

DEDICATORIA

A mi **padre Roberto Muñoz** (†) por los sabios consejos que me dio durante 18 años, porque gracias a ese apoyo incondicional me he convertido en la mujer que él esperaba y pudimos cumplir un sueño más que ambos tuvimos.

A mi **madre Angélica Lazcano** por su paciencia y apoyo durante estos meses de redacción y por ser un ejemplo a seguir como mujer día a día. Te quiero mama!!!

A **Miguel Ramos Cabrera** por su apoyo, por sus palabras de aliento y por creer en mí para terminar esta meta.

A todas aquellas personas que has sido un ejemplo para mí y que han creído en mí para concluir con esta maestría y que me han brindado una palabra de aliento al pensar que ya no podría continuar.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA.....	vi
CONTENIDO.....	vii
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	4
1.2 Objetivos particulares:.....	4
1.3 Hipótesis.....	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1 Origen del limón mexicano.....	5
3.2 Clasificación Botánica	5
3.3 Situación Mundial	6
3.3.1 Producción	6
3.3.2 Superficie cultivada	6
3.3.3 Rendimiento	7
3.4 Situación Nacional.....	8
3.4.1 Producción	8
3.4.2 Valor de la producción.....	10
3.4.3 Exportaciones.....	11
3.4.4 Importaciones.....	12
3.5 Morfología general del fruto.....	13
3.6 Composición química del fruto	15
3.6.1 Color.....	15
3.6.2 Nitrógeno.....	15
3.6.3 Carbohidratos.....	16
3.6.4 Ácidos Orgánicos	16
3.6.5 Flavonoides y Limonoides	16
3.6.6 Compuestos Volátiles.....	17

3.6.7 Vitaminas.....	17
3.7 Clones de limón mexicano	18
3.8 Características de las variedades ‘Colimex’, ‘Colimon’, ‘Lise’	19
3.8.1 Variedad ‘Colimex’.....	19
3.8.2 Variedad ‘Colimon’	20
3.8.3 Variedad ‘Lise’	21
3.8.4 Generación de nuevos clones	22
3.9 Calidad en frutos de limón.....	23
3.9.1 Características de Calidad en frutos de limón mexicano.....	24
3.10 Deterioro de calidad en limón.....	26
3.10.1 Daños fisiológicos.....	27
3.10.2 Daños físicos.....	28
3.10.3 Factores que afectan la calidad del limón	29
IV. MATERIALES Y METODOS.....	30
4.1 Material biológico	30
4.2 Métodos.....	30
4.3 Diseño experimental.....	32
4.3.1 Análisis estadístico de los datos:.....	33
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
5.1 Almacenamiento a condiciones Ambientales	35
5.1.1 Pérdida de peso	37
5.1.2 Sólidos Solubles Totales (SST).....	38
5.1.3 Acidez.....	39
5.1.4 Color.....	41
5.1.5 Ácido ascórbico o Vitamina C.....	42
5.2 Análisis de componentes principales (ambiente)	44
5.2.1 Análisis de Componente Principal (Global)	44
5.2 Almacenamiento a condiciones de refrigeración	46
VI. CONCLUSIONES	52
VII. RECOMENDACIONES.....	54
VIII. BIBLIOGRAFIA	55

INDICE DE CUADROS

Cuadro1. Clasificación botánica del limón mexicano	5
Cuadro 2. Producción por tipo de limón en México (Toneladas)	8
Cuadro 3. Principales Estados productores de limón en México (Toneladas)	9
Cuadro 4. Principales estados en México por valor de la producción de limón (Miles de pesos)	10
Cuadro 5. Ácidos Orgánicos en jugo de cítricos (Seymur <i>et al</i> , 1993).	16
Cuadro 6. Comparativo de variedades	21
Cuadro 7. Medias \pm desviación estándar de las variables estudiadas a través del tiempo a condiciones ambientales para las tres variedades de limón	36
Cuadro 8. Análisis de varianza (P-value) para las variables estudiadas	37
Cuadro 9. Medias y Desviación estándar del % de pérdida de peso después de tres semanas de refrigeración en las variedades estudiadas	48
Cuadro 10. Medias y Desviación estándar en el contenido de ácido ascórbico (Vitamina C) después de tres semanas de refrigeración	49

INDICE DE FIGURAS

Figura1. Producción de limas y limones en el Mundo.....	6
Figura 2. Principales países con superficie en Ha cultivadas de limas y limones en el mundo	7
Figura 3. Rendimiento en ton/ha de limas y limones en los principales países productores	8
Figura 4. Principales Estados productores de limón.....	10
Figura 5. Precio Medio Rural nacional del limón (\$/ton)	11
Figura 6. Principales países exportadores de limones y limas (Toneladas).....	12
Figura 7. Principales países importadores de limones y limas (Toneladas).....	12
Figura 8. Anatomía del fruto de limón	13
Figura 9. Ácido ascórbico (Vitamina C).....	18
Figura 10. Proceso de variación genética natural.....	19
Figura 11: Variedad ‘Colimex’	20
Figura 12. Variedad “Colimon”	20
Figura 13. Variedad ‘Lise’	21
Figura 14. Colores del limón mexicano conforme avanza su madurez	25
Figura16. Cambio en el % de SST después de 8 días de almacenamiento a condiciones ambientales (Medias \pm sd para n=5).....	39
Figura 17. Cambio en el % de ácido cítrico después de 8 días de almacenamiento a condiciones ambientales (Medias \pm sd para n=5).....	40
Figura18. Cambio en Índice de color (IC) después de 8 días de almacenamiento a condiciones ambientales. (Medias \pm sd para n=10).....	42
Figura 19. Cambio de color en las variedades durante los días de medición	42
Figura 20. Cambio en la concentración de ácido ascórbico (mg/100ml) después de 8 días de almacenamiento a condiciones ambientales. (Medias \pm sd para n=5).....	43
Figura 21. Variedades ubicadas en el plano de las dos componentes principales	45
Figura 23. Correlación de variables en las tres variedades Temperatura ambiente.	46
Figura 24. Pérdida de peso (%) en las tres variedades después de tres semanas de refrigeración. (Medias \pm sd para n=10)	48
Figura 25. Limones después de dos semanas de refrigeración	48
Figura 26. Variación en la concentración de ácido ascórbico después de seis semanas de refrigeración (Medias y sd n=5).....	50

I. INTRODUCCIÓN

En México, la superficie plantada con limas y limones se estima en más de 142 mil hectáreas con una producción de 2.0 millones de toneladas (FAOSTAT, 2009); situándose esta última en una proporción de 65.8% para limón mexicano ((*Citrus aurantifolia* Swingle), 32.7% para limón ‘Persa’ o ‘Tahiti’ (*Citrus latifolia* Tan.) y 1.5% para limón verdadero (*Citrus limón*). En este sentido, la producción de limón mexicano alcanza los 1.31 millones de toneladas, siendo los principales estados productores Michoacán, Colima y Oaxaca; en tanto que la producción de limón ‘Persa’ se sitúa en las 650 mil toneladas, siendo Veracruz el principal estado productor. Es de señalar que, a nivel mundial, se produce limón mexicano en México, Brasil, Perú y otros países; en el caso de México cerca del 65% de la producción se utiliza para la extracción de aceite esencial y la piel seca se emplea para la extracción de pectina, el restante 35% se comercializa como fruta fresca principalmente para abastecer el mercado nacional, toda vez que su exportación es incipiente debido a problemas de calidad. En lo que se refiere al limón ‘Persa’, la producción se destina principalmente al mercado en fresco, exportándose un volumen de 487,085 toneladas con un valor de 242 millones de dólares, principalmente a los Estados Unidos, Francia y Japón (FAOSTAT, 2009).

El manejo postcosecha de los frutos enfrenta diversos y serios problemas que afectan significativamente su calidad y periodo de vida de anaquel, lo cual, además de provocar altas pérdidas de la producción, limita su expansión en el mercado interno y dificulta su acceso a los mercados de exportación. De acuerdo con productores, empacadores y comercializadores, las principales causas de pérdidas de la producción y calidad de los frutos de limón mexicano son la estructura anatómica de pericarpio delgado, bajo contenido de ceras intra y extracuticulares, alto contenido de idioblastos o glándulas de aceite y tamaño pequeño (Saucedo, 2008), todo lo cual se traduce en elevada sensibilidad de los frutos a daños mecánicos (heridas, golpes, deformaciones, picaduras y

rozaduras), alteraciones fisiológicas (oleocelosis, rompimiento del extremo estilar y daños por frío), alta incidencia de pudriciones, elevadas pérdidas de peso, alta sensibilidad al marchitamiento y presencia de frutos tiernos, o con grado de madurez avanzado (amarillos),

Es de señalar, que actualmente la producción de limón mexicano se basa en una variedad comercial de pie franco, producción heterogénea, con espinas y plantas bien adaptada a las condiciones agroclimáticas de las zonas productoras de México; sin embargo, el fruto que se obtiene es muy pequeño, con alto contenido de semillas y con manejo postcosecha difícil, situación que le resta calidad al fruto y limita su comercialización a mercados de exportación. No obstante, por su alto contenido de jugo y ácido cítrico, así como excelente sabor y aroma, en el mercado nacional el limón mexicano, respecto al limón 'Persa', presenta una mayor preferencia por parte de los consumidores, además de comercializarse a mayor precio.

Actualmente la comercialización mundial de cítricos requiere de nuevas variedades para satisfacer el mercado de fruta fresca que demanda alta calidad organoléptica, aceptable presentación, ausencia de semillas y alta acidez; además de existir una agroindustria que cada vez más requiere de jugos y aceites de mayor calidad. En este sentido, en los últimos años en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Tecomán, Colima, México, se han venido realizando estudios sobre variación genética natural y colecta de materiales con algunas características sobresalientes, lo que se ha traducido en la obtención de los clones 'Colimex' (planta con espinas, alto rendimiento y consistencia de la producción), "Colimon" (frutos sin semilla) y "Lise" (plantas sin espinas y frutos cosechados con menor índice de daños físicos). La introducción de estos clones para su producción a nivel comercial es aún incipiente debido, entre otros aspectos relacionados con la tecnología de producción, al desconocimiento del comportamiento fisiológico de los frutos en postcosecha, principalmente en cuanto a los requerimientos de temperatura y

humedad relativa con fines de frigoconservación por diferentes periodos, sensibilidad a daños por frío y necesidad de otras tecnologías que permitan ofrecer a los consumidores frutos con óptima calidad.

II. OBJETIVOS E HIPOTESIS

1.1 Objetivo General

De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar la pérdida de la calidad de frutos de limón mexicano, provenientes de los clones 'Colimex', "Colimon" y 'Lise' expuestos al ambiente y bajo condiciones de refrigeración por diferentes periodos.

1.2 Objetivos particulares:

- ✓ Determinar el tiempo de vida de anaquel a las condiciones ambientales de los frutos de los clones de limón mexicano 'Colimex', "Colimon" y 'Lise', con el mínimo de daños en la calidad comercial.
- ✓ Determinar los tiempos de conservación frigorífica de los frutos provenientes de los clones: 'Colimex', "Colimon" y 'Lise', con el mínimo de cambios en la calidad organoléptica (contenido de sólidos solubles totales y ácido cítrico) y nutricional (contenido de ácido ascórbico).
- ✓ Evaluar la sensibilidad de los frutos de los clones 'Colimex', "Colimon" y 'Lise' a daños por marchitamiento, senescencia y daños por frío.

1.3 Hipótesis

¿La vida de anaquel a las condiciones ambientales y bajo refrigeración de los frutos de limón de los clones 'Colimex', "Colimon" y 'Lise' es la misma?

¿Los frutos de limón de los tres clones presentan la misma sensibilidad a daños por senescencia, marchitamiento y por bajas temperaturas?

¿La calidad organoléptica y nutricional de los frutos provenientes de los tres clones no es afectada por las condiciones de almacenamiento.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Origen del limón mexicano

La mayoría de los cítricos son nativos de las regiones tropicales y subtropicales de Asia y el archipiélago malayo. Se considera que el limón mexicano se originó en el este del archipiélago Indio, de donde el hombre lo dispersó en el mundo (Ting y Attaway, 1980).

La introducción de los cítricos a América fue hecha por los españoles en el año de 1493, en Haití. En México, las primeras huertas de limón mexicano se establecieron en Michoacán en 1912 y su expansión en Colima inició en 1920 (SDR, 2005).

3.2 Clasificación Botánica

El limón Mexicano (*Citrus aurantifolia*) también conocido como Mexican lime, West Indian lime, limón Gallego, Key lime, limón criollo ó limón sutil pertenece a la familia de las Rutaceas.

Cuadro1. Clasificación botánica del limón mexicano

FAMILIA.....	<i>Rutaceae</i>
SUBFAMILIA.....	<i>Aurantioideae</i>
TRIBU.....	<i>Citreas</i>
SUBTRIBU.....	<i>Citrinas</i>
GENERO.....	<i>Citrus</i>
SUBGENERO.....	<i>Eucitrus</i>
ESPECIE.....	<i>Aurantifolia</i>

3.3 Situación Mundial

3.3.1 Producción

No existen datos a nivel mundial para limón mexicano como tal; la FAO lo clasifica dentro de las limas ácidas y engloba al grupo como limas y limones, De acuerdo A datos de FAOSTAT, 2009, la producción mundial de limas y limones alcanzó los 13.5 Millones de toneladas. En los últimos años la producción de limas y limones se ha concentrado principalmente en 6 países y en donde México e India ocupan los dos primeros lugares en producción, seguidos de Argentina y Brasil (Figura 1)

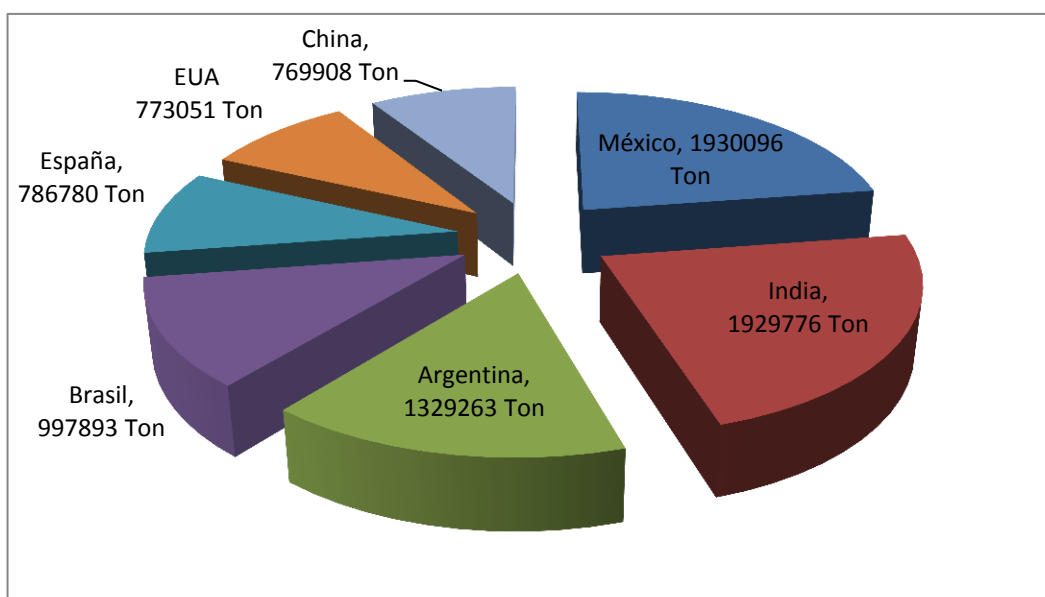


Figura1. Producción de limas y limones en el Mundo
Fuente: FAOSTAT, 2009

3.3.2 Superficie cultivada

En el año 2009 la superficie cultivada a nivel mundial de limas y limones fue de 1.1 millones de hectáreas. Distribuidas en diferentes países, entre los que destaca México. De acuerdo a estadísticas de la FAO, en promedio desde el año 2003 al 2009 los países que tuvieron mayor superficie cultivada en hectáreas fueron en orden de importancia: India con 30% de la superficie mundial cultivada y México en segundo lugar con un 13% de la superficie mundial (Figura 2).

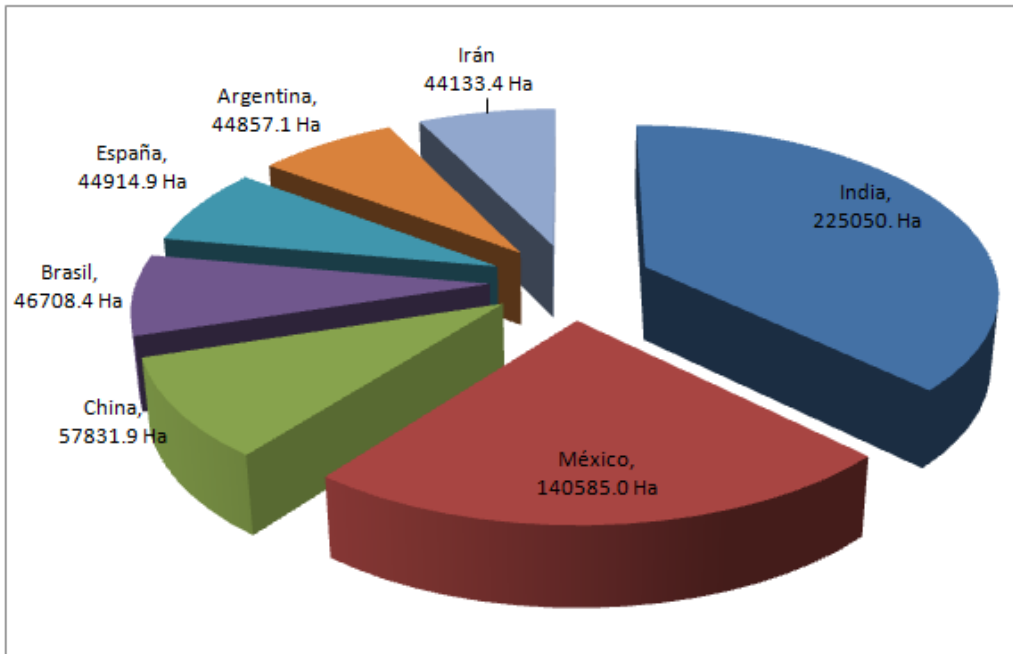


Figura 2. Principales países con superficie en Ha cultivadas de limas y limones en el mundo
Fuente: FAOSTAT, 2009.

3.3.3 Rendimiento

En la Figura 3 se puede observar el rendimiento (Ton/ha). En el caso de México se puede observar que se ha mantenido con un promedio de 13 ton/ha en los últimos años. Estados Unidos y Argentina son los países que presentan mayor rendimiento; seguidos por Brasil. La India a pesar de ser el mayor productor de limas y limones no presenta altos rendimientos en comparación a los otros países, ya que se encuentra debajo de las 10 ton/ha.

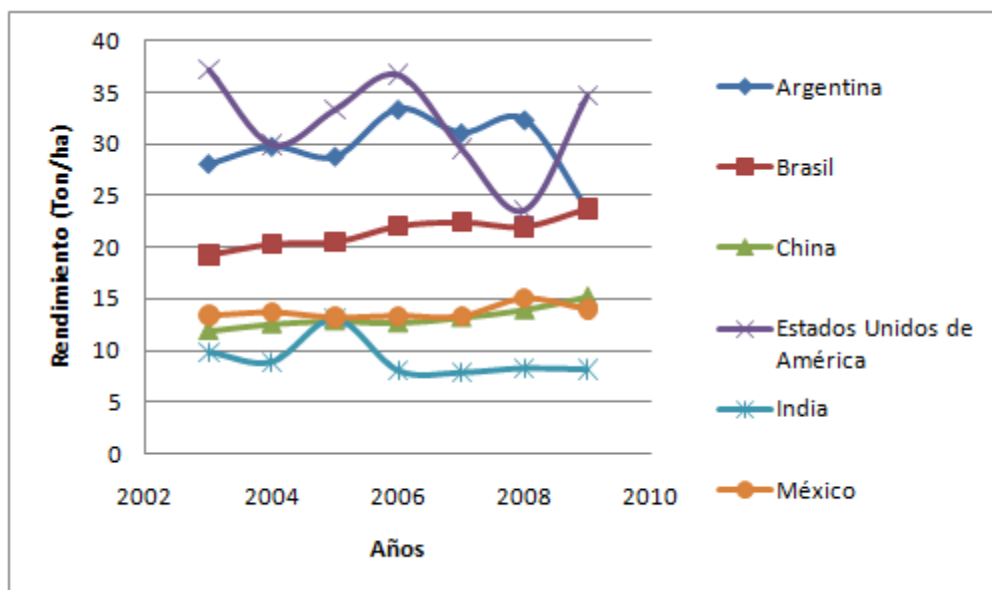


Figura 3. Rendimiento en ton/ha de limas y limones en los principales países productores
Fuente: FAO, 2009.

3.4 Situación Nacional

3.4.1 Producción

En México se producen cuatro tipos de limón (Cuadro 2), siendo limón mexicano o agrio y ‘Persa’ los de mayor importancia.

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

TIPOS	2004	2005	2006	2007	2008
Agrio (mexicano)	1,252,775	1,222,814	1,273,356	1,251,867	1,308,352
Italiano	17,444	23,672	54,828	63,508	87,132
Persa	642,430	545,181	523,946	607,217	833,402
Real	26	20	0	3	3

Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2011).

Los principales estados productores de limón en México, de acuerdo al orden de importancia, son: Veracruz, Colima, Michoacán, Oaxaca. Durante los últimos cinco

años el promedio de producción a nivel nacional ha oscilado en 1.9 millones de toneladas (Cuadro 3). Como se puede observar el estado de Colima disminuyó notablemente su participación en la producción en el año 2010 (Figura 4), esto se debió ,de acuerdo a datos del Gobierno del Estado de Colima, al ataque en los cultivos de la enfermedad Huanglongbing (HLB) la enfermedad de los brotes amarillos, dragón amarillo, greening o enverdecimiento; la cual no tiene cura y se considera la enfermedad más destructiva de los cítricos debido a que se han reportado el mundo más de 650 millones de árboles muertos por esta enfermedad (Villagómez *etal*, 2010)

Cuadro 3. Principales Estados productores de limón en México (Toneladas)

Estado	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Veracruz	318,048	288,752	355,292	545,395	514,728	438,270
Colima	252,803	603,075	586,211	657,990	423,040	381,247
Michoacán	407,784	411,419	405,768	421,999	414,562	432,235
Oaxaca	181,906	192,964	188,967	186,154	176,182	204,791
Yucatán	75,628	65,595	80,063	105,155	104,777	111,670
Otros	555,498	290,325	306,291	312,193	333,056	323,190
TOTAL	1,791,666	1,852,131	1,922,592	2,228,886	1,966,345	1,891,403

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2010)

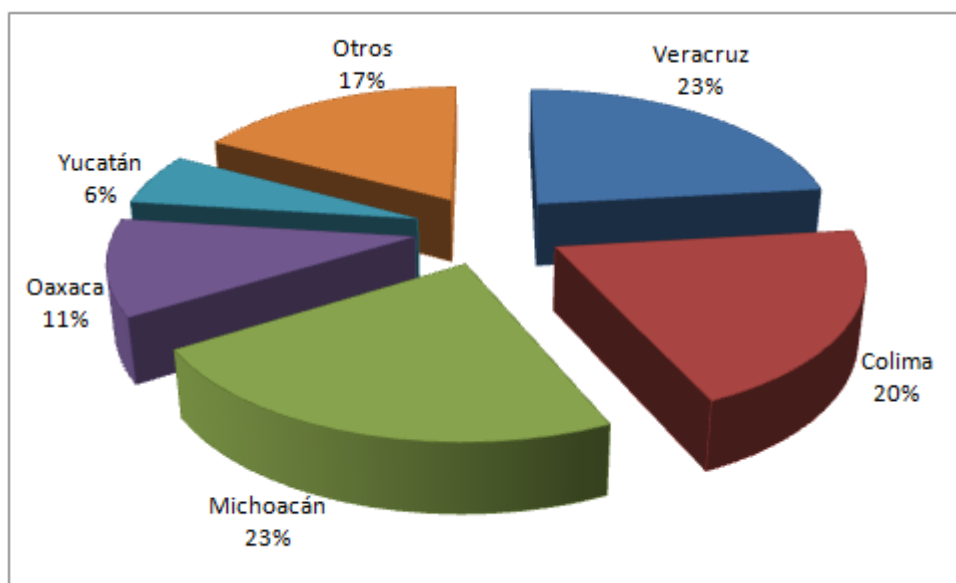


Figura 4. Principales Estados productores de limón
Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2010)

3.4.2 Valor de la producción

Por otro lado, desde el punto de vista de valor de la producción (miles de pesos), el estado de Colima hasta el año 2009 presentó el mayor valor por ventas de su producto; seguido por el estado de Michoacán (Cuadro 4), aunque en el año 2010 este valor disminuyó como se ha visto anteriormente debido a la baja que hubo en su producción por el HLB.

Cuadro 4. Principales estados en México por valor de la producción de limón (Miles de pesos)

ESTADOS	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Colima	798,431	1,110,518	1,290,330	1,860,746	1,336,797	1,258,934
Michoacán	590,100	730,063	890,360	860,358	1,117,830	1,340,405
Veracruz	542,245	512,403	521,435	979,393	1,035,659	1,198,965
Oaxaca	258,932	304,929	549,139	344,048	374,319	655,452
Yucatán	62,802	55,223	88,043	110,738	184,499	192,024
TOTAL	2,579,557	3,300,822	4,085,625	4,830,301	4,919,557	5,437,093

En la Figura 5 se muestra el comportamiento del Precio Medio Rural (PMR) por tonelada en el país a lo largo de estos cinco últimos años. Como se puede observar la tendencia de este precio ha ido en aumento.

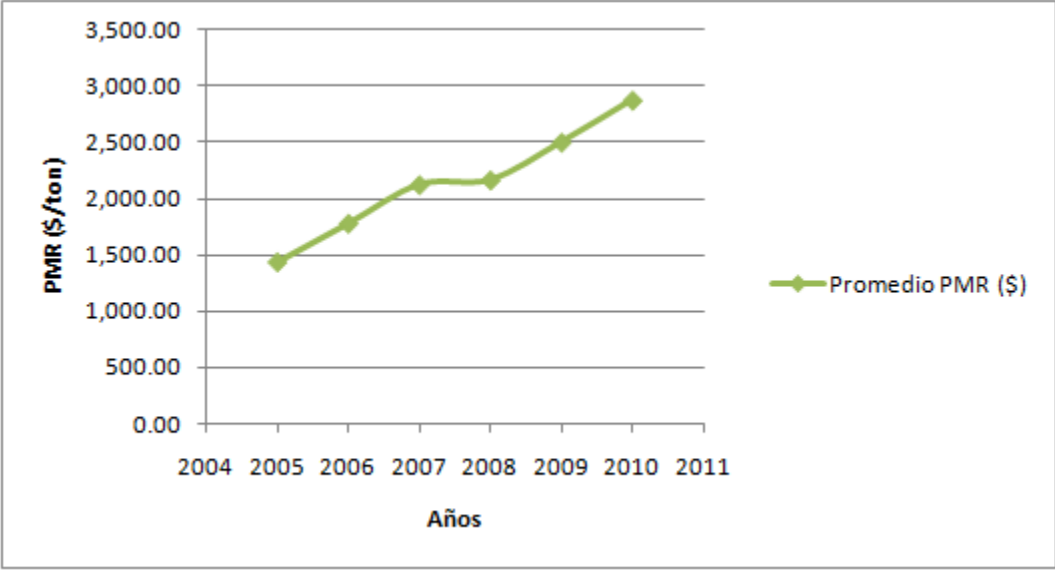


Figura 5. Precio Medio Rural nacional del limón (\$/ton)
Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2011)

3.4.3 Exportaciones

México junto con España son los dos principales países exportadores de limón en el mundo, representan entre los dos el 44% de las exportaciones totales a nivel mundial. Seguidos por Argentina con 18% del total de las toneladas exportadas de limón y limas (Figura 6).

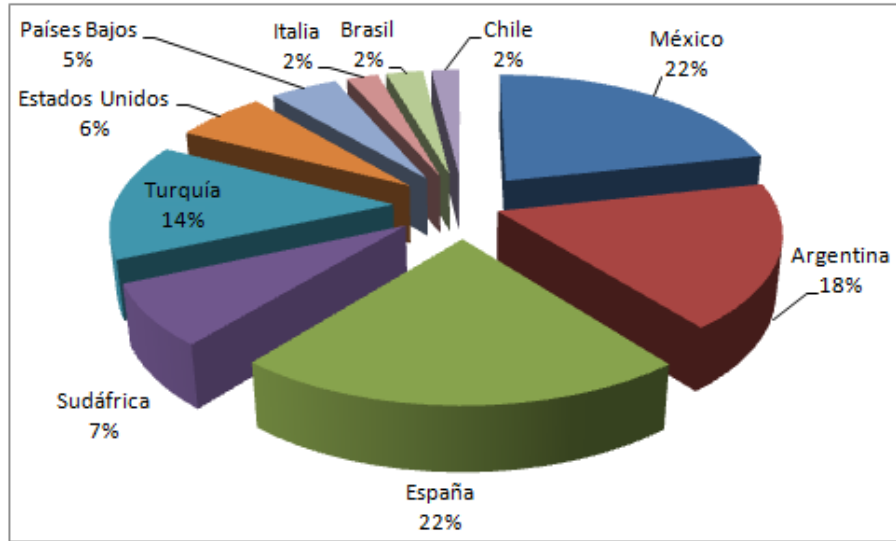


Figura 6. Principales países exportadores de limones y limas (Toneladas)
Fuente: FAOSTAT, 2009.

3.4.4 Importaciones

En la Figura 7 se presentan los principales países importadores de limón y lima en el mundo. Estos datos son de acuerdo a los promedios de toneladas importadas en los últimos cinco años hasta el 2009 de la FAO. Estados Unidos encabeza la lista seguido por la Federación Rusia y Alemania.

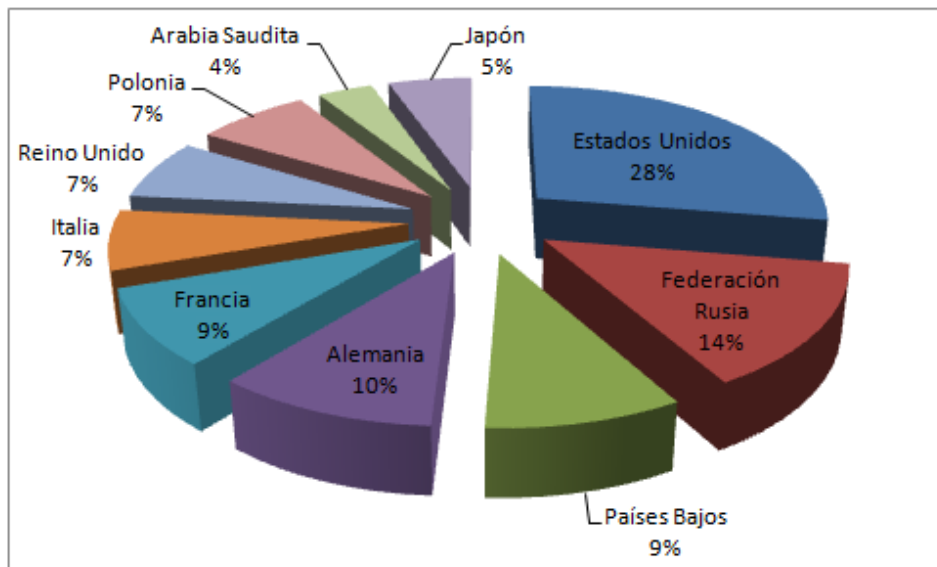


Figura 7. Principales países importadores de limones y limas (Toneladas)
Fuente: FAOSTAT, 2009.

3.5 Morfología general del fruto

El limón mexicano no es un limón propiamente dicho, sino que corresponde a una variedad de la clasificación de las limas ácidas. Las mejores especies de esta clasificación crecen en zonas cálidas y húmedas como India, algunos estados en México, África, Egipto y California en Estados Unidos (Ting and Attaway, 1980).

El fruto de limón mexicano pertenece al grupo de los hesperidios, como los cítricos en general. Este tipo de fruto se caracteriza porque el pericarpio y sus partes accesorias se ponen suaves y carnosas con la madurez (Barahona y Sancho, 2000).

Las tres partes que componen a este fruto son el exocarpo o flavedo formado por la epidermis y el parénquima subyacente con cavidades glandulares lisígenas y células con cristales (Figura 8). En el proceso de maduración los cloroplastos del parénquima se convierten en cromoplastos con carotenoides; la segunda capa es el mesocarpo o albedo que no es más que parénquima formado por células con brazos que dejan espacios intercelulares, y una red de haces vasculares (Figura 8) y finalmente la capa interna que corresponde al endocarpo que está formado por pocas capas de parénquima compactado y epidermis interna con emergencias pluricelulares jugosas, claviformes, con un pie delgado. Las células altamente vacuoladas que contienen el jugo están rodeadas por una epidermis con cutícula y cera. Durante la maduración disminuyen la acidez y aumentan los azúcares (Sormani *et al*, 2009).

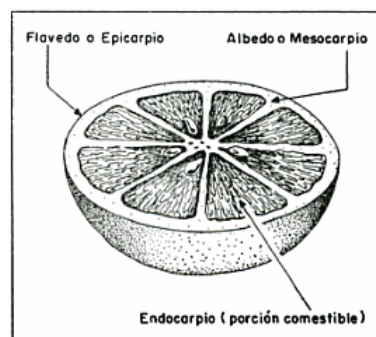


Figura 8. Anatomía del fruto de limón
Fuente: Barahona y Sancho, 2000.

Asimismo el cultivo del limón 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 al cultivo de los cítricos en todo el mundo (Hernández-Sanchez, 2010), además de estar siendo afectado por la enfermedad denominada Huanglongbing (HLB) o enfermedad de los brotes amarillos, dragón amarillo, greening o enverdecimiento, la cual no tiene cura y se considera la enfermedad más destructiva de los cítricos debido a que se han reportado el mundo más de 650 millones de árboles muertos por esta enfermedad (Villagómez *et al*, 2010). También se requiere que incorpores otras características gronómicas, que ayuden a reducir las amenazas que representan algunas enfermedades de alto impacto económico (Viloria y Grosser, 2005).

Una vez cosechados, el metabolismo de los frutos de limón mexicano presentan cambios relacionado con el fenómeno de senescencia, caracterizado por pérdidas en el contenido de clorofila (responsables del color verde), elevada transpiración que conduce al marchitamiento y endurecimiento de la piel, reacciones de fermentación (producción de etanol), pérdidas del valor nutricional y mayor sensibilidad al ataque de microorganismos causantes de pudriciones. Se ha reportado (Cuquerella y Navarro, 1997), que la evolución de la senescencia en cítricos es acelerada por diversos factores como: inadecuado momento de cosecha, manejo brusco del producto tanto en campo como en empacadora, insuficiente aplicación de técnicas para control de patógenos y pérdidas de agua por transpiración, así como empleo de inadecuadas condiciones de temperatura y humedad relativa para el almacenamiento y/o transporte del producto. Entre las técnicas postcosecha que se han venido aplicando para mantener la calidad de los frutos de limón mexicano durante su almacenamiento y comercialización, están principalmente el uso de recubrimientos a base de ceras y la frigoconservación; sin embargo, en el primer caso el tratamiento se ha venido realizando con emulsiones cuya composición y contenido de sólidos no cumple con los objetivos

de su aplicación (reducción de pérdidas de agua, prolongación de la vida de anaquel del producto y mejorar la presentación del mismo), en el caso de la refrigeración resulta común el uso de temperaturas que favorecen la inducción de alteraciones

Los frutos de limón mexicano, al igual que otros cítricos, han sido clasificados como no climatéricos, por lo que su plena calidad organoléptica y nutricional sólo se alcanza durante su maduración en el árbol, por lo que fisiológicamente en postcosecha presentan cambios inherentes a senescencia; su velocidad de respiración se sitúa entre 15 a 20 $\text{mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ a 20° C (Saucedo *et al.*, 1978), en tanto que su producción de etileno, a la misma temperatura, permanece en 0-0.1 $\mu\text{l C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (Kader, 1985). Algunos parámetros utilizados para evaluar la calidad en los frutos de limón mexicano incluyen: Tamaño y textura del fruto, color externo (color verde), manchado de la piel, contenido de jugo, relación °Brix/% ácido cítrico (índice de madurez), contenido de ácido ascórbico (Vitamina C) y contenido de volátiles en jugo (etanol y acetaldehídos) (Cuquerella y Navarro, 1997).

3.6 Composición química del fruto

3.6.1 Color

En general cuando los cítricos son inmaduros, el color dominante es verde, tal es el caso del limón mexicano. Durante la maduración la clorofila a y b se rompe y el color amarillo comienza a incrementar en la cáscara. (Ting y Attaway, 1980)

3.6.2 Nitrógeno

En los cítricos los compuestos nitrogenados consisten en aminoácidos, aminas, péptidos y proteínas (Ting y Attaway, 1980). Maroto, 2005 reporta que aproximadamente las proteínas representan un 6.7% de cada 100g de limón.

3.6.3 Carbohidratos

Del 70-80% del total de sólidos solubles en el jugo de un limón corresponde a azúcares y de éste porcentaje el 80-90% es glucosa y fructosa y el 20-30% es sacarosa (Ting y Attaway, 1980), Los azúcares libres en la cáscara del limón son predominantemente sacarosa, glucosa y fructosa.

3.6.4 Ácidos Orgánicos

La acidez titulable en todos los jugos provenientes de cítricos se debe en mayor medida a la presencia de ácido cítrico y también un poco de ácido Málico (Cuadro 5). Este ácido predomina en el endocarpio, mientras que en la cáscara también se encuentran ácidos como el málico, oxálico, malónico y un poco de cítrico (Ting y Attaway, 1980)

Cuadro 5. Ácidos Orgánicos en jugo de cítricos (Seymur *et al*, 1993).

Fruto	Cítrico		Málico	
	g /100ml	% total de ácido	g /100ml	% ácido total de ácido
Naranja/tangerina	0.5-1.5	75-88	0.06-0.20	9-23
Toronja	1.0-2.0	82-96	0.04-0.06	2-17
Limon	4.0-5.0	87-88	0.17-0.26	11-12

3.6.5 Flavonoides y Limonoides

Los flavonoides se han definido como un grupo de sustancias que contienen el esqueleto de carbón $C_3 - C_6 - C_3$. Los principales flavonoides en cítricos son flavonas, flavononas, flavoles y hesperidia (Ting y Attaway, 1980). Estos compuestos se caracterizan por tener un efecto antioxidante y actualmente son muy utilizados para la ayuda contra enfermedades degenerativas específicamente

se han hecho estudios de su acción contra cáncer y como anti-inflamatorios (Benavente-García y Castillo, 2008)

Los limonoides son los responsables del olor característico de los cítricos y generalmente el limoneno es el que se encuentra en mayor proporción (Haro, 2005)

3.6.6 Compuestos Volátiles

Los materiales volátiles más importantes en frutos cítricos están asociados al sabor y aroma. Estos compuestos incluyen Terpenos, compuestos de carbono, alcoholes, esterres y ácidos orgánicos volátiles, estos están generalmente asociados al aceite esencial (Ting and Attaway, 1980), De acuerdo a datos del Gobierno del Estado de Colima el 60% de la producción de limón mexicano se destina a la obtención de aceites esenciales, esto es debido a que la calidad que produce el limón mexicano es mucho mayor sobre otros limones y limas.

3.6.7 Vitaminas

En general, los cítricos tienen fama por su alto contenido de vitaminas, azúcares y sales, especialmente la vitamina C o ácido ascórbico, la cual se halla en la pulpa y el zumo; por esto es que al limón y a la lima ácida se les atribuye una extraordinaria acción terapéutica preventiva y curativa en perturbaciones intestinales, hepáticas, estados febriles gripales, inflamaciones (Medina *et al*, 2007)

La principal función de la vitamina C es la prevención del escorbuto; enfermedad que se desarrolla en los adultos cuya habitual la ingesta de vitamina C cae por debajo de 1 mg por día. La ingesta diaria recomendada de Vitamina C es de 60 mg por día. El ascorbato es el probablemente es el antioxidante con mayor solubilidad en la sangre (Johnson, 2001).

La Vitamina C o ácido ascórbico es uno de los parámetros utilizados en la presente investigación para determinar la calidad del fruto.

El ácido acórbico (Figura 9) es un derivado de seis carbonos que participa en reacciones de hidroxilación. El ácido hexurónico, aislado en 1929 por Szent-Gyorgy del jugo de limón, pimentón y glándulas adrenales, fue identificado simultáneamente en 1932 por Waugh y King, Siverley y Szent-Gyorgory como el factor autoescorbuto. De ahí su nombre de ácido ascórbico (Cuamatzi, 2004).

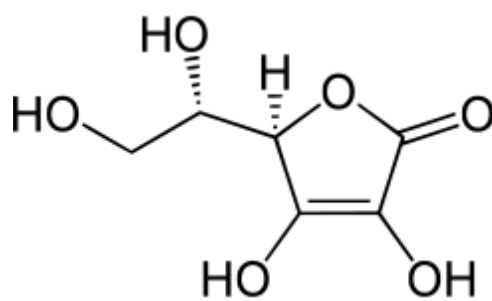


Figura 9. Ácido ascórbico (Vitamina C)

3.7 Clones de limón mexicano

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

Trabajos sobre colecta y variación genética natural se han obtenido los clones Colimex, ‘Colimon’ y ‘Lise’, que son resultado de mutaciones naturales y recombinaciones naturales dando lugar a esta variación genética traducida como

“Diversidad” (Figura 10) y ahora son consideradas como variedades de limón mexicano diploide ($2n=2x=18$) (Robles-González, *et al* 2010).

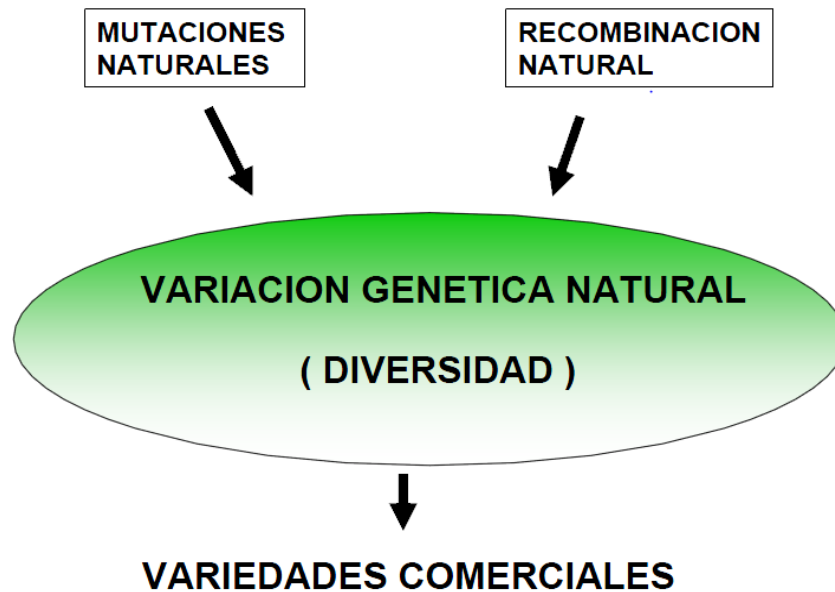


Figura 10. Proceso de variación genética natural
Fuente: Robles-González, 2010.

3.8 Características de las variedades ‘Colimex’, ‘Colimon’, ‘Lise’

3.8.1 Variedad ‘Colimex’

De acuerdo con investigaciones hechas en el 2004 por Medina Urrutia y Robles-González; los frutos de limón de esta variedad provienen de árboles vigorosos, follaje denso y con espinas pequeñas y puntiagudas (Figura 11a). Florece todo el año, principalmente de diciembre a abril. El fruto es pequeño de forma elíptica a semiesférica de cáscara delgada, coreácea, verde claro jugosa y muy ácida con 3 a 5 semillas (Figura 11b).



Figura 11: Variedad 'Colimex'
a) árbol b) fruto

3.8.2 Variedad 'Colimon'

Los árboles son muy similares a los de la variedad 'Colimex'; su follaje es denso y con espinas pequeñas y puntiagudas en las hojas (Figura 12a). Florece todo el año principalmente en diciembre a abril. El fruto es pequeño y de forma elíptico a semiesférico, de cáscara delgada, coriácea, de color verde claro, jugosa y muy ácida y prácticamente sin semillas, pudiendo a veces presenta 1 semilla (Figura 12b)



Figura 12. Variedad "Colimon"
a) Árbol b) fruto

3.8.3 Variedad 'Lise'

Se caracteriza porque sus ramas carecen de espinas. El árbol es vigoroso, de follaje de crecimiento erecto y sin espinas (Figura 13a). El fruto es pequeño de forma elíptica a semiesférica, cáscara delgada, coriácea, de color verde al tiempo de corte, pulpa verde claro, jugosa y muy ácida con tres a cuatro semillas por fruto; proporciona aceite esencial de alta calidad.



Figura 13. Variedad 'Lise'

a) Árbol

b) Fruto

En el Cuadro 6 se presentan algunos datos importantes referentes a las variedades estudiadas en este trabajo de investigación. Cabe destacar principalmente el dato de rendimiento por hectárea que tiene cada una de las variedades. Estos datos fueron tomados de investigaciones hechas en el INIFAP.

Cuadro 6. Comparativo de variedades

Variedad	Altura (m)	Diámetro copa (m)	Espinas	Rendimiento (ton/Ha)	Peso fruto (g)	Semillas/fruto	Fruta empacable (%)
Colimex	4.1	4.8	Si	42	30-35	4.9	50-70
'Colimon'	4.5	5.0	Si	22	30-33	0.3*	50-60
'Lise'	3.9	4.9	No	32	30-35	3.6	70-85

* sólo el 30% presentan una semilla el 70% no presentan semillas

Fuente: Robles-González *et al*; 2009

3.8.4 Generación de nuevos clones

La industria mundial de cítricos ácidos 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, así como para atender las necesidades de la industria que clama por alta calidad en los jugos y aceites. También se requiere que incorpore otras características agronómicas, que ayuden a reducir las amenazas que representan algunas enfermedades de alto impacto económico (Viloria y Grosser, 2005).

A parte de las mutaciones naturales, que han dado lugar a nuevas variedades, forma de generar nuevos clones es mediante la inducción de mutaciones; es un método adecuado para el mejoramiento de variedades o especies totalmente estériles o con apomixis obligada. Es una excelente alternativa también para variedades con buena combinación de características, pero con la necesidad de incorporar un nuevo carácter, como puede ser la resistencia a patógenos. Mediante mutaciones inducidas se han modificado características como: altura de plantas, precocidad, incremento en rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades, adaptabilidad, calidad de fruta y resistencia al frío (Micke *et al*, 1987). En cítricos las mutaciones radioinducidas han dado origen a nuevas variedades comerciales que entre otras características se les ha modificado el color de la pulpa y el número de semillas (Hensz, 1977; Spieguel-Roy y Aliza-Vardí, 1989). En el caso del limón mexicano se han hecho mutaciones radioinducidas para producir frutos con bajo nivel de semillas, sin embargo, al producir menos semillas también los árboles produjeron menos fruta (Robles-González *et al*, 2010). Actualmente estos estudios de hibridación están enfocados a la obtención de variedades que enfrenten la problemática actual de las enfermedades que están devastando los cultivos como lo son el VTC y el HLB.

3.9 Calidad en frutos de limón

De acuerdo a la norma ISO 9000, el término calidad debe entenderse como el grado en el que el conjunto de características (rasgos diferenciadores) cumple con ciertos requisitos (necesidades o expectativas establecidas) los requisitos deben satisfacer las expectativas del cliente.

En un sistema de producción y distribución el cliente es el elemento clave. Los productores tienen que ser capaces de desarrollar productos que cumplan con las especificaciones que los clientes demandan (Alcalde, 2007)

En el caso de un fruto, como el limón, la calidad global implica tres componentes importantes:

Organolépticos. Están relacionados directamente con factores sensoriales (olfato, gusto, vista). Es un componente subjetivo y variable con el tiempo. Los factores sensoriales son los que más influyen en el consumidor al momento de aceptar o rechazar un alimento. Estos factores son a los que se les concede más importancia a la hora de elaborar las normas de calidad (Serra y Bugueño, 2004). En el caso específico del limón mexicano que es el material de estudio de la presente investigación, esta calidad está definida por aspectos como el color, tamaño, la textura (aparición externa de la piel), el aroma y el sabor ácido característico de este fruto.

Higiénicos-sanitarios. Están directamente relacionados con factores higiénicos y sanitarios que son aquellos que afectan a la pureza, integridad o contaminación de un alimento: residuos de plaguicidas, unidades dañadas o podridas, fragmentos de insectos, microorganismos viables o no, etc. La calidad higiénica es la no tóxica del alimento, es una exigencia de seguridad, en un principio, absoluta; el alimento no ha de contener ningún alimento tóxico en concentraciones peligrosas para el

consumidor. La causa de toxicidad del alimento puede ser de naturaleza química o bacteriológica (Serra y Bugueño, 2004)

Nutritivos. Define la bondad del alimento como nutriente, su contenido de proteínas, vitaminas, carbohidratos, etc. Desde el punto de vista cualitativo se busca un equilibrio nutricional del alimento, o un enriquecimiento en un elemento particular (vitaminas, aminoácidos, etc.). (Serra y Bugueño, 2004) en este caso específico del limón como ya se ha mencionado en apartados anteriores es ampliamente buscado por su contenido en Vitamina C y por el poder antioxidante que tiene esta vitamina.

3.9.1 Características de Calidad en frutos de limón mexicano

De acuerdo a la NMX-FF-087-SCFI-2001 las especificaciones que debe tener el limón mexicano para su consumo en fresco son como mínimas: estar enteros, tener consistencia firme, se de forma y color característicos de la especie, estar sanos, estar exentos de daños causados por plagas, estar limpios, exentos de humedad exterior y de cualquier olor extraño y presentar un estado de madurez adecuado para su comercialización, distribución y consumo.

Esta misma norma marca como índice de madurez el contenido de jugo, que no debe de ser menor de 45% en peso, por su parte el color que debe de presentar el limón mexicano debe de ser una coloración uniforme, pasando del verde al amarillo conforme avanza su madurez fisiológica (Figura 14). El tamaño está entre los rangos de 31mm-40mm de diámetro.

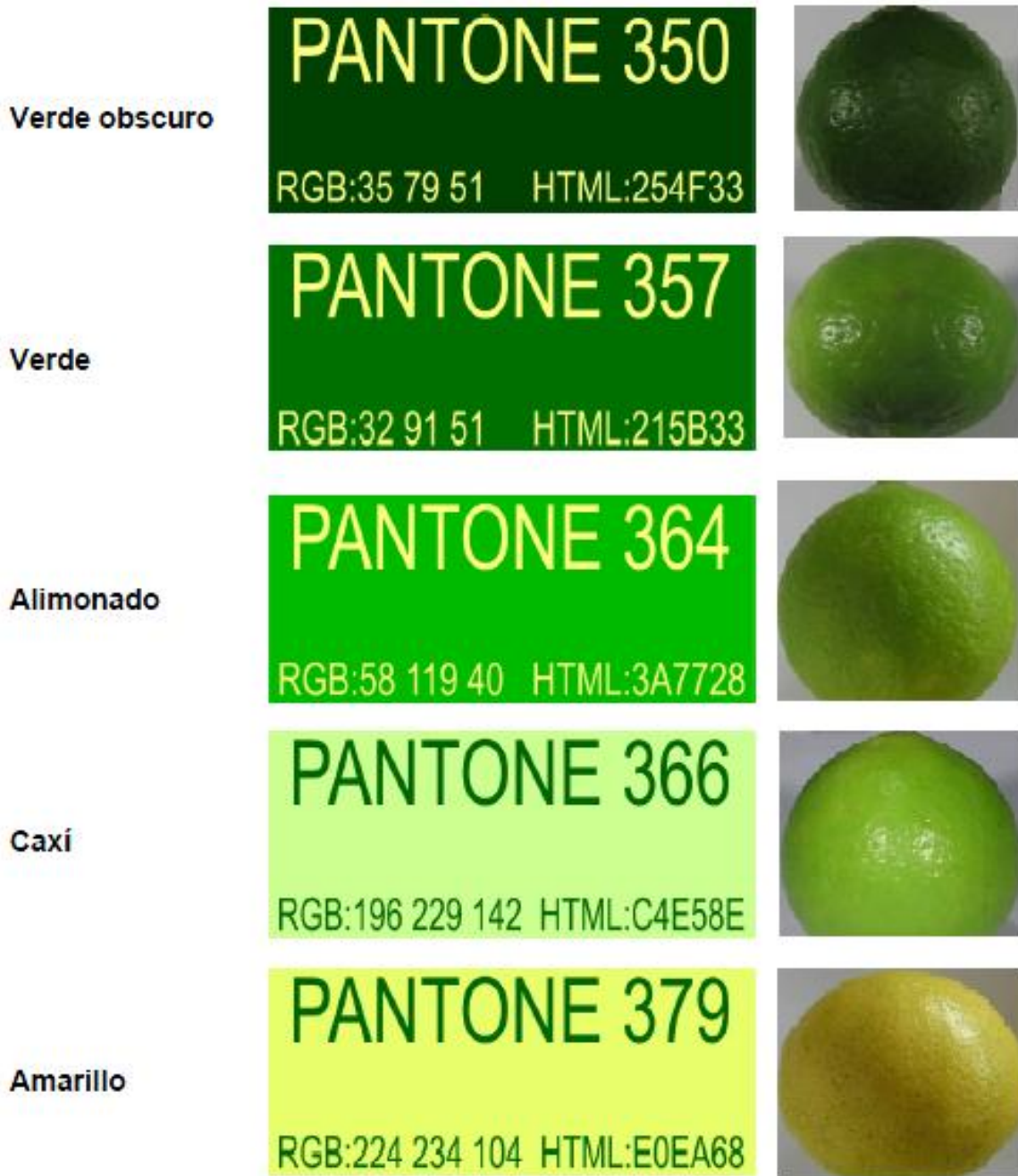


Figura 14. Colores del limón mexicano conforme avanza su madurez
Fuente: PC-024-2005

3.10 Deterioro de calidad en limón

Por razones económicas y científicas se debe optimizar la cantidad y calidad del limón mexicano, para lograr esto se deben enfocar mayores esfuerzos en las condiciones de manipulación, transporte y almacenamiento. Es importante por ello conocer los principales procesos metabólicos (respiración, transpiración y biosíntesis de etileno) que sufre el fruto del limón una vez cosechado y cuáles son los factores que afectan dichos procesos metabólicos.

El limón es un fruto no climatérico, es decir que no presenta un aumento considerable en la respiración una vez cosechado, y no es posible detectar un climaterio claro. Los cambios en la maduración como son composición química, hidrólisis de polisacáridos, hidrólisis de los componentes de la pared celular, aumento en la permeabilidad de las membranas celulares, cambios en ácidos orgánicos, aumento en el aroma, cambios en pigmentación y otros, son cambios que se dan graduales en el tiempo y no se ven acompañados por aumentos respiratorios o de la producción de etileno (Agusti, 2003)

La transpiración es el proceso a través del cual el producto fresco pierde agua, y la intensidad de esta pérdida está asociada a distintos condicionantes. En primer lugar a la estructura de la superficie. La relación superficie volumen también afecta a la transpiración, en el sentido de que cuanto mayor es la superficie por unidad de volumen, más acusadas son las pérdidas de agua por evaporación (Aranceta, 2006). Todo lo anterior se traduce en pérdida de peso en el fruto.

3.10.1 Daños fisiológicos

Daños por Frío (DF)

El principal daño fisiológico que se presenta en limón es el daño por frío. Consiste en desequilibrios a escala celular provocados por el mantenimiento del fruto a una temperatura de conservación por debajo de la óptima, aunque superior al punto de congelación (Artés-Hernández y Artés, 2008). La temperatura óptima de almacenamiento del limón mexicano se sitúa en $11 \pm 1^\circ\text{C}$ y humedad relativa entre 85-90% (Saucedo y Medina-Urrutia, 2008). El excesivo frío induce la rigidez de los lípidos de las membranas celulares y una reorganización de las proteínas asociadas, con perturbaciones de las funciones celulares y enzimáticas y, finalmente la desorganización de la pared celular (Artés-Hernández y Artés, 2008)

Síntomas de daños por frío

El más común es el **picado** (pitting) en el que las áreas discretas de la piel colapsan formando lesiones hundidas. Las mismas tienden a juntarse, siendo la demarcación entre las lesiones y el tejido epidérmico sano muy definida. La **podredumbre acuosa** puede presentarse en especies críticas mantenidas a muy bajas temperaturas, afectando tanto la piel como la pulpa, las que toman un apariencia blanda y esponjosa y son más susceptibles a ataques fúngicos. Existe otra alteración conocida como **peteca** que se presenta como una superficie deprimida de la piel, encontrándose el tejido a menudo desorganizado y oscurecido. Otra sintomatología que se presenta es la **membranosis** en la que las membranas (segmentos o paredes carpelares) muestran manchas irregulares, marrones o negras (Vázquez, 2008).

Oleocelosis

También es conocida como manchado, es resultado de un efecto fitotóxico producido por la rotura de las gotas de aceite de la epidermis del fruto, a consecuencia de rozaduras, manejo inadecuado, pinchazos de las espinas y otros daños (Timmer, 2002). De acuerdo con Saucedo y Medina-Urrutia, 2008 la cosecha de frutos húmedos favorece la incidencia de oleocelosis. Los frutos así dañados se eliminan durante la selección de frutos en el empaque y cuando llegan a comercializarse presentan severos daños en la cáscara que reducen significativamente la calidad y la vida de almacenamiento de los frutos. De acuerdo a experiencias mencionadas por estos mismos autores se ha determinado que la cosecha de limón por la mañana ocasiona mayor incidencia de oleocelosis en poscosecha, la hora de cosecha no solo influye sobre la incidencia de este desorden, sino también los frutos resultan sensibles a otros tipos de daños.

3.10.2 Daños físicos

Entre los principales daños físicos encontrados en limón mexicano, se encuentran golpes, rozaduras y heridas. Estos daños están directamente ligados al manejo durante la cosecha. Por ejemplo la presencia de espinas, aunado al corte de la fruta, esto se traduce en pérdidas importantes de calidad (evaluado por el grado de manchado de la cáscara provocada por la incidencia de daños físicos como picaduras y rozaduras (Saucedo-Veloz y Medina-Urrutia, 2008).

3.10.3 Factores que afectan la calidad del limón

Los principales factores que controlan los procesos metabólicos son la temperatura (al aumentar, estimula la velocidad de respiración, la transpiración y otros cambios), la humedad relativa del ambiente (cuanto mayor sea la diferencia entre la tensión de vapor de agua en los tejidos epidérmicos del fruto o de la atmósfera en los espacios intercelulares y en el exterior mayor será la transpiración), la composición de la atmósfera que rodea al fruto y las características del fruto (la epidermis provista de ceras dificulta el intercambio de gases, la transpiración y la pérdida de peso (Artés-Hernández y Artés, 2008)

También existen factores precosecha que influyen en los requerimientos poscosecha del fruto, entre estos están la temperatura, luz, lluvias, viento y prácticas de cultivo (nutricional, mineral, portainjertos, época de cosecha, riego, y aplicación de compuestos químicos). (Medina Urrutia y Robles-Gómez, 2004).

Finalmente para el caso de los Daños por Frío (DF), los factores con mayor influencia de estos daños dependen del producto; pero generalmente son la intensidad y duración del tratamiento frigorífico aplicado y el estado de desarrollo (Artés-Hernández y Artés, 2008). De acuerdo con Saucedo-Veloz; Medina-Urrutia, (2008), los frutos que se maduran en el árbol tienden a tolerar temperaturas más bajas de almacenamiento, no obstante su contenido de ácido cítrico y ácido ascórbico (Vitamina C) es menor.

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1 Material biológico

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Fruticultura del Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad, en el Campus Montecillo del Colegio de Posgraduados. El material con que se trabajó se obtuvo de las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias INIFAP en Tecomán, Colima, México.

Se cosecharon frutos de tres variedades de limón mexicano: “Colimon” (con espinas, sin semilla y cáscara delgada), ‘Colimex’ (con espinas, con semilla y cáscara delgada) y “Lise” (sin espinas, con semilla y cáscara gruesa). Las tres variedades se cosecharon en estado verde y con un contenido de jugo cercano al 35-40%; es decir cuando habían completado su crecimiento en planta.

4.2 Métodos

Los limones de las tres variedades se dividieron en dos grupos de estudio. El primer grupo fue sometido a condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente ($22 \pm 2^\circ \text{C}$; 50-60% de humedad relativa) y el segundo grupo se sometió a condiciones de refrigeración ($9 \pm 1^\circ \text{C}$; 85-90% de humedad relativa).

En el caso de las muestras sometidas a temperatura ambiente se evaluaron los cambios en color de la piel, contenido de ácido cítrico, contenido de sólidos solubles totales, pérdida de peso, contenido de ácido ascórbico (vitamina C) y se determinó la relación °Bx/Acidez. Todas estas variables se midieron, en las tres variedades, a los 0, 2, 4, 6 y 8 días en tres repeticiones de cinco frutos por repetición de las variables químicas, para las variables color y pérdida de peso se utilizaron 10 frutos por repetición.

En cuanto a las condiciones de refrigeración, para cada una de las variedades, se establecieron tiempos de conservación de 2, 4 y 6 semanas, con exposición de 2 y 4 días a las condiciones ambientales para simular condiciones de comercialización. Asimismo, para la evaluación de las variables químicas se establecieron tres repeticiones con cinco limones en cada, así como tres repeticiones de 10 frutos cada una tres para las variables color y pérdida de peso, además de un lote de 25 frutos por cada variedad y por cada periodo de conservación para evaluar la incidencia de daños por frío.

La variable color se midió con un colorímetro de reflexión Hunter Lab (Reston, Virginia, USA; modelo D-25) con la escala CIELab, que es la base para determinar los tres atributos de color que son; la luminosidad (L^*), que se define como la proporción de luz transmitida por el objeto y va de negro (0%) a blanco (100%) (Hutchings, 1999), el índice de saturación (IS) o croma $[(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$, que es un atributo de la sensación visual y se define como la proporción de contenido cromático en la percepción total o el grado de diferencia del gris para el mismo valor de luminosidad (Hutchings, 1999); y el ángulo de tono ($^{\circ}\text{Hue} = \tan^{-1} b^*/a^*$) que es la proporción de rojo, amarillo, verde o azul (Hutchings, 1999), (0° corresponde a rojo, 90° a amarillo, 180° a verde, 270° a azul) (Mc Guire, 1992). Para el presente estudio se midió el color aplicando el "Índice de Color (IC) para cítricos ($1000a/bL$) descrito por Jiménez-Cuesta et al. (1981)

La variable SST se midió mediante refractometría, usando un refractómetro de mano digital con escala de 0 a 32% $^{\circ}\text{Brix}$.

La acidez titulable se determinó por el método de la AOAC (2000), para lo cual se tomaron 5 mL de jugo del fruto. Se adicionaron 50 mL de agua destilada para medir volumen total y enseguida tomar una alícuota de 10mL a la que se agregaron 3 gotas de fenolftaleína como indicador y posteriormente se efectuó una titulación con NaOH al 0.1N. El porcentaje de acidez, con base al ácido cítrico, se calculó mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

N: Normalidad

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

Los sólidos solubles totales se determinaron mediante un refractómetro digital modelo PR-100 (escala 0-32) mediante el método AOAC (2000); los resultados se expresaron como % SST. Con los datos de ácido cítrico se calculó la relación °Brix/Acidez como índice de calidad del jugo de limón.

El contenido de ácido ascórbico (vitamina C) se determinó por el método de Tillman (con base en la oxidación del 6-diclorofenolindofenol) y ácido oxálico como solución extractora, reportando los datos como mg de ácido ascórbico/100 mL de jugo (Fennema, 1977).

Para el caso de la variable pérdida de peso se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ pérdida de peso} = \left(\frac{p_i - p_f}{p_i} \right) 100$$

Donde:

P_i = Peso inicial

P_f = Peso final

4.3 Diseño experimental

Para el análisis las muestras sometidas a condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente (22±2° C) se utilizó un diseño factorial 3 x 5 en un diseño completamente al azar, donde los factores fueron variedades con tres niveles ('Colimon', 'Colimex' y 'Lise') y los días después de cosecha con cinco niveles (0, 2, 4, 6 y 8 días); en tres repeticiones y el tamaño de muestra fue de cinco limones para las variables respuesta: acidez titulable, °Brix, contenido de ácido ascórbico y

la relación °Brix/Acidez; así como 10 frutos para las variables % pérdida de peso y color, para establecer un total de 6 variables respuesta.

Para el caso de las muestras sometidas a condiciones de almacenamiento de refrigeración ($9\pm 1^\circ\text{C}$) se utilizó un factorial $3 \times 3 \times 3$ en un diseño completamente al azar ; donde los factores fueron variedad con tres niveles ('Colimon', 'Colimex' y 'Lise'), semanas de almacenamiento en refrigeración con tres niveles (2, 4 y 6 semanas) y los días que se midieron las variables a la salida de la refrigeración que en este caso fueron tres niveles (0, 2 y 4 días). Se establecieron tres repeticiones con un tamaño de muestra de 5 y 10 frutos para las variables respuesta: concentración de ácido ascórbico y pérdida de peso (%).

4.3.1 Análisis estadístico de los datos:

Se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables estudiadas con $\alpha \leq 0.05$, la comparación múltiple con la prueba de Tukey y un Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA), mediante el paquete SAS® para Windows versión 9.1.3.

Para el caso de la condición ambiente ($22\pm 2^\circ\text{C}$) , que se utilizó un diseño factorial 3×5 completamente al azar, el modelo asociado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \mathcal{A}_i + \mathcal{B}_j + \mathcal{AB}_{ij} + \mathcal{E}_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor de la variable respuesta; para el caso multivariado se estudiaron de manera conjunta las variables: SST, acidez, ácido ascórbico (Vitamina C), color, % de pérdida de peso e índice de madurez (°Bx/ácidez) y para el caso univariado se estudiaron cada una de estas variables por separado.

μ = Media general

\mathcal{A}_i = Efecto de la i -ésima de variedad ('Colimon', 'Colimex' y 'Lise') donde $i=1, \dots, 3$

\mathcal{B}_j = Efecto del j -ésimo día (al momento de cosecha y a los 2, 4 6 y 8 días después de la cosecha), donde $j=1, \dots, 8$

\mathcal{AB}_{ij} = Interacción variedad*días

ε_{ijk} = Error experimental $\sim N(0, \sigma^2)$

El diseño asociado a la refrigeración ($9 \pm 1^\circ \text{C}$), en donde se utilizó un diseño factorial 3 x 3 x 3 completamente al azar fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \mathcal{A}_i + \mathcal{B}_j + \mathcal{C}_k + \mathcal{AB}_{ij} + \mathcal{AC}_{ik} + \mathcal{BC}_{jk} + \mathcal{ABC}_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor de la variable respuesta; para el caso multivariado se estudiaron de manera conjunta las variables: ácido ascórbico (Vitamina C) y % de pérdida de peso y para el caso univariado se estudiaron estas variables por separado.

μ = Media general

\mathcal{A}_i = Efecto de la i-ésima de variedad ('Colimon', 'Colimex' y 'Lise') donde $i=1, \dots, 3$

\mathcal{B}_j = Efecto de la j-ésima semana (a las dos, cuatro y seis semanas de refrigeración), donde $j=1, \dots, 6$

\mathcal{C}_k = Efecto del k-ésimo día (al momento de entrar a refrigeración, a la salida de la refrigeración, y a los dos y cuatro días después de salir de refrigeración), donde $k=0, \dots, 4$

\mathcal{AB}_{ij} = Interacción variedad*semana

\mathcal{BC}_{jk} = Interacción semana*días

\mathcal{ABC}_{ijk} = Interacción variedad*semana*días

ε_{ijk} = Error experimental $\sim N(0, \sigma^2)$

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Almacenamiento a condiciones Ambientales

En el Cuadro 6 se muestra el medias \pm su desviación estándar de las variables estudiadas para cada una de las variedades de limón, tras los periodos de almacenamiento establecidos a temperatura ambiente. El análisis de la calidad al inicio del experimento (un día después de cosecha) reportó que los frutos de la variedad 'Colimon' presentan como característica sobresaliente un mayor índice de color (-26.5) en relación a 'Colimex'(-23.2) y 'Lise' (-22.2), siendo por lo tanto de tonalidad verde más intensa. En el caso de 'Colimex' los frutos cosechados presentan un mayor contenido de ácido ascórbico con 46.9 mg/100 mL, respecto a 'Lise' (43.2 mg/100 mL) y 'Colimon' (42.4 mg/100 mL), obteniendo por lo tanto un mayor valor nutricional; asimismo, 'Lise' resulta con una relación °Brix/Acidez (1.39) respecto a 'Colimex'(1.38) y 'Colimon' (1.32) resultado de un mayor contenido de sólidos solubles totales (11.1 °Brix) y ácido cítrico (8.0%), favoreciendo con esto su sabor y aroma. Por su parte, En el Cuadro 6 y Figuras 15-20 se presentan los cambios en la calidad de los frutos de limón mexicano de las tres variedades, con relación al tiempo de almacenamiento establecido. En cada una de las graficas se pueden observar letras que son el resultado del análisis de varianza (ANOVA) hecho para cada variable estudiada. Con recuadros en los graficos se marcan las letras correspondientes a las medias del ANOVA para días. Y en las leyendas junto a cada una de las variedades aparece la letra que corresponde a las medias del ANOVA para variedades. Es importante destacar que letras iguales quiere decir que no hay diferencia significativa ya sea en variedad o en días según sea el caso.

Cuadro 7. Medias \pm desviación estándar de las variables estudiadas a través del tiempo a condiciones ambientales para las tres variedades de limón

Variedad	Medición	Almacenamiento (Días) a $22 \pm 2^\circ C$				
		0	2	4	6	8
'Colimon'	Ácido cítrico (%)	7.5 \pm 0.2	7.3 \pm 0.1	7.2 \pm 0.2	7.1 \pm 0.3	5.6 \pm 0.6
	Sólido solubles (%)	10.3 \pm 0.3	10.4 \pm 0.1	10.6 \pm 0.2	10.7 \pm 0.2	10.5 \pm 0.1
	Índice de Color	-26.5 \pm 4.2	-12.9 \pm 1.4	-11.6 \pm 1.1	-11.1 \pm 2.4	-9.8 \pm 0.9
	ácido ascórbico (mg/100mL)	42.4 \pm 2.4	33.2 \pm 0.5	31.4 \pm 1.8	27.8 \pm 2	27.6 \pm 2.4
	$^\circ Bx/ac.$	1.38 \pm 0.01	1.44 \pm 0	1.47 \pm 0.02	1.53 \pm 0.05	1.88 \pm 0.20
'Colimex'	Ácido cítrico (%)	7.7 \pm 0.7	8.0 \pm 0.1	7.6 \pm 0.3	7.6 \pm 0.4	6.8 \pm 0.2
	Sólido solubles (%)	11.0 \pm 0.1	11.1 \pm 0.1	11.2 \pm 0.7	11.3 \pm 0.4	11.3 \pm 0.4
	Índice de Color	-23.2 \pm 0.4	-11.4 \pm 0.8	-9.4 \pm 0.9	-9.0 \pm 0.8	-8.6 \pm 1.9
	Ácido ascórbico (mg/100mL)	46.9 \pm 2.1	31.2 \pm 1.5	28.7 \pm 0.5	25.9 \pm 1.2	25.4 \pm 1.2
	$^\circ Bx/ac$	1.32 \pm 0.08	1.39 \pm 0.04	1.47 \pm 0.05	1.48 \pm 0.1	1.65 \pm 0.18
'Lise'	Ácido cítrico (%)	8.0 \pm 0.1	7.9 \pm 0.9	7.6 \pm 0.4	7.4 \pm 0.3	7.3 \pm 0.1
	Sólido solubles (%)	11.1 \pm 0.1	11.1 \pm 0.3	11.2 \pm 0.2	11.4 \pm 0.1	12.0 \pm 0.6
	Índice de Color	-22.2 \pm 0.4	-10.6 \pm 0.4	-10.2 \pm 0.9	-9.7 \pm 1.4	-8.9 \pm 0.6
	Ácido ascórbico (mg/100mL)	43.2 \pm 0.6	33.3 \pm 0.9	33.0 \pm 1.8	27.1 \pm 1.3	25.3 \pm 0.3
	$^\circ Bx/ac$	1.39 \pm 0.12	1.41 \pm 0.07	1.47 \pm 0.12	1.54 \pm 0.10	1.64 \pm 0.07

Cuadro 8. Análisis de varianza (P-value) para las variables estudiadas

Variable	fuelle	P-value**	Respecto a $\alpha=0.05$
%perdida de peso	variedad	<0.0001	< α
	días	<0.0001	< α
SST	variedad	<0.0001	< α
	días	0.0169	< α
Acidez	variedad	<0.0001	< α
	días	<0.0001	< α
Color	variedad	0.0022	< α
	días	<0.0001	< α
Vitamina C	variedad	0.2588	> α
	días	<0.0001	< α
°Bx/acidez	variedad	0.028	< α
	días	<0.0001	< α

**Valor obtenido del ANOVA hecho con el programa SAS

5.1.1 Pérdida de peso

De acuerdo al Cuadro 8 existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) en las variedades ('Colimex' a 'Colimon' y 'Lise') respecto a esta variable % de pérdida de peso. En Figura 15 se presenta la evolución de la variable pérdida de peso (%) y como se puede observar existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) a través del tiempo siendo el día 8 el que presenta mayor pérdida de peso. También como puede observarse las pérdidas de peso fueron significativamente mayores ($p < 0.05$) en la variedad 'Colimon' respecto a 'Colimex' y 'Lise' (Figura 15). En este sentido, en la variedad 'Colimon' las pérdidas resultaron significativamente mayores ($p < 0.05$), respecto a las otras dos variedades, variando desde 3.0% a los dos días de almacenamiento, hasta 11.7% a los 8 días; siendo esta variación de 2.6 a 10.8% para 'Colimex' y 1.8 a 8.9% para 'Lise'. La característica principal de los frutos de la variedad 'Colimon' es su alto contenido de jugo, ausencia de semilla pero de tamaño pequeño, siendo esta última una de las causas de la mayor sensibilidad a pérdidas de agua por transpiración; la menor sensibilidad a dicha pérdidas observada en la variedad 'Lise' está dada principalmente por la menor

incidencia de daños físicos ocasionados por la presencia de espinas en la planta.

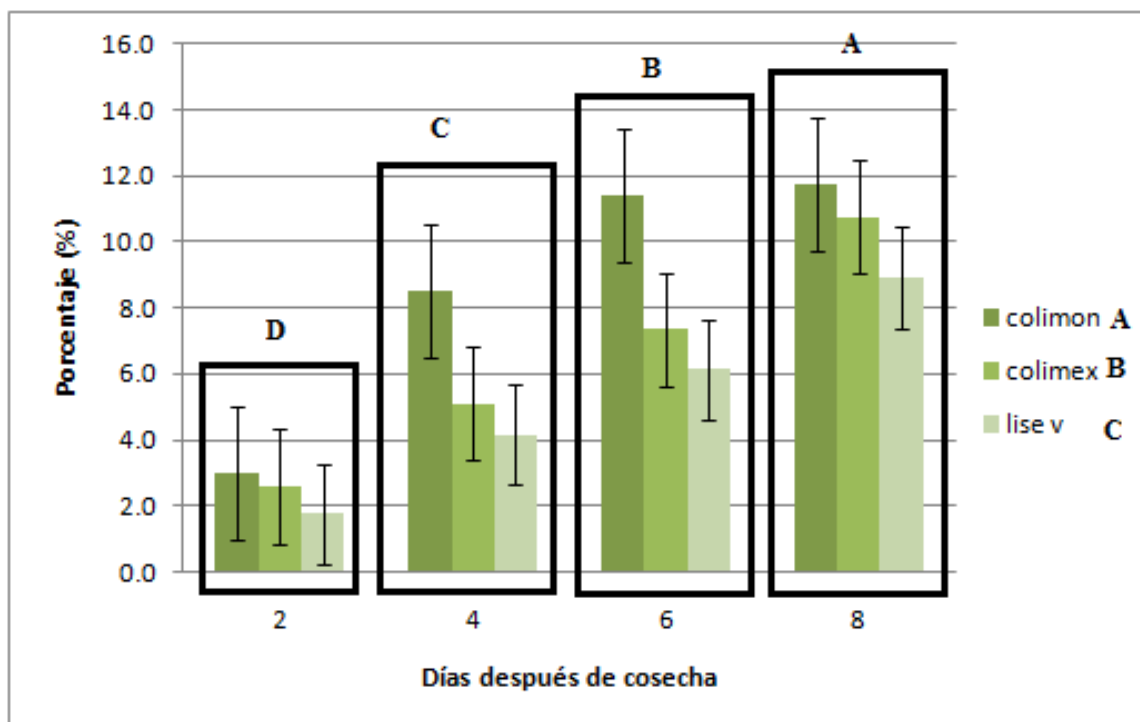


Figura 15: Pérdida de peso (%) después de 8 días de almacenamiento a temperatura ambiente (Medias \pm sd para n=10)

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

5.1.2 Sólidos Solubles Totales (SST)

En lo que respecta a los cambios en el contenido de sólidos solubles totales de los frutos de limón mexicano de las tres variedades (Cuadro 6, Figura 16), los resultados revelaron un aumento, no significativo ($p < 0.05$), durante el almacenamiento a las condiciones ambientales, variando de 10.3 a 10.5 °Brix en 'Colimon', 11.0 a 11.3 °Brix en 'Colimex' y de 11.1 a 12.0 en 'Lise'; el mayor contenido de sólidos solubles de la variedad 'Lise' sugiere diferencias en el metabolismo de carbohidratos, principalmente a nivel piel o cáscara, pudiendo estar relacionado con la hidrólisis de pectinas (Ting y Attaway, 1974)

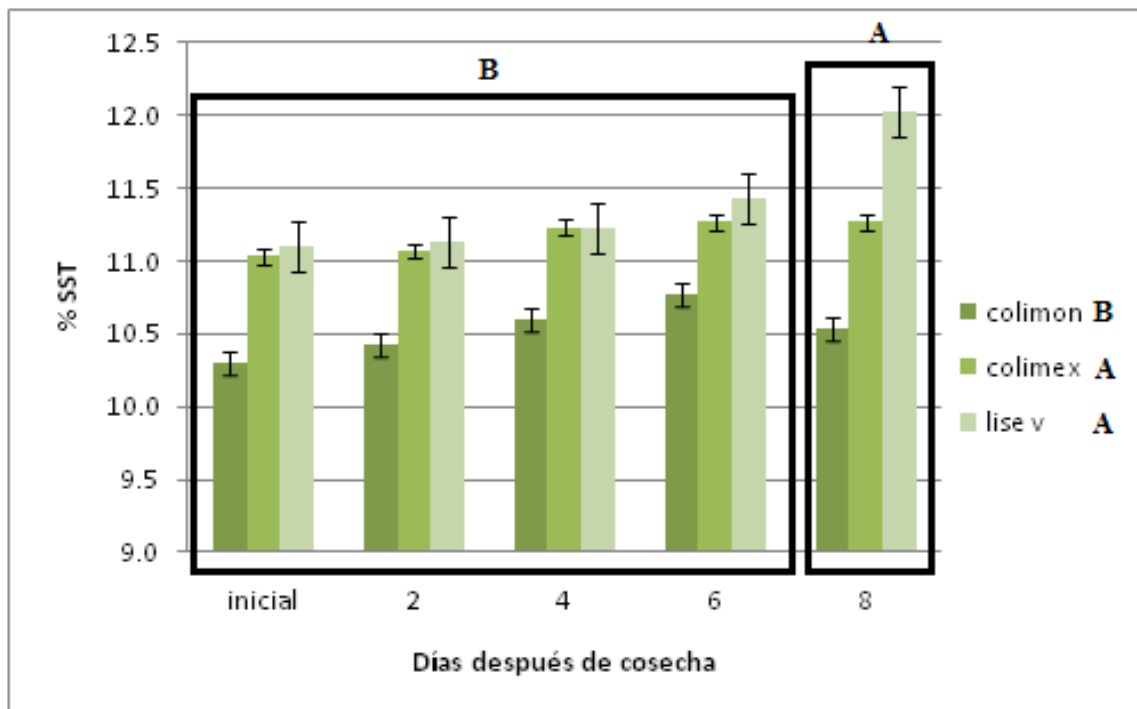


Figura16. Cambio en el % de SST después de 8 días de almacenamiento a condiciones ambientales (Medias \pm sd para n=5)

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

5.1.3 Acidez

La acidez de fruto del limón está dada por un mayor contenido de ácido cítrico, el cual constituye entre el 85-95 % del total de los ácidos presentes en el jugo del limón (Pérez-Acevedo, 2005).

En el presente estudio el contenido de ácido cítrico disminuyó, de manera significativa ($p < 0.05$) en las tres variedades durante el periodo de almacenamiento establecido. En el caso de 'Colimon' el contenido de ácido cítrico disminuyó de 7.5% hasta 5.6%, siendo significativo este cambio ($p < 0.05$) en comparación con las otras dos; 'Colimex' cambió de 7.7 a 6.8% y en 'Lise' de 8.0 a 7.3 (Cuadro 6, Figura 17). 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).

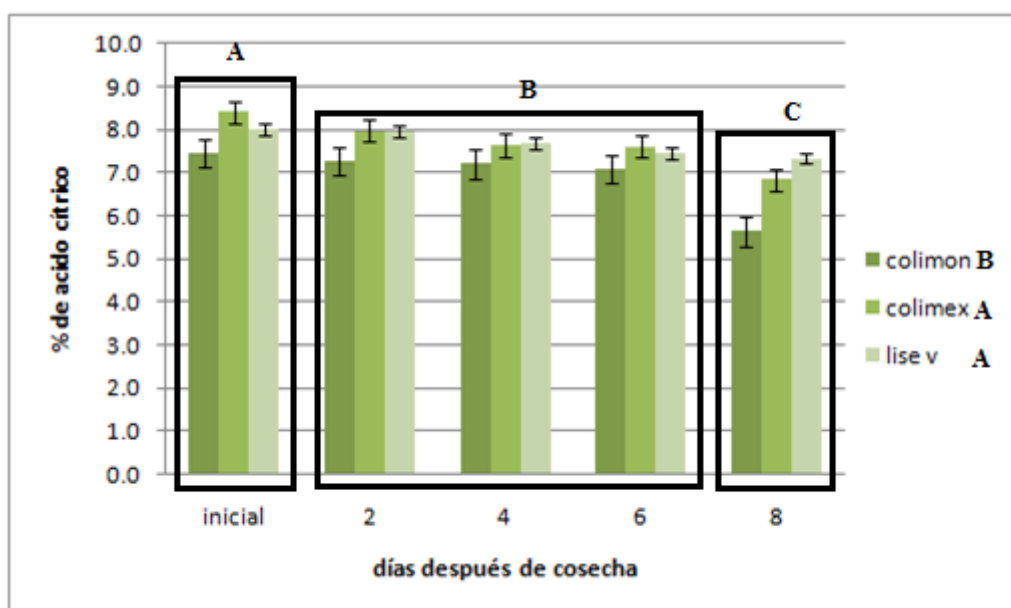


Figura 17. Cambio en el % de ácido cítrico después de 8 días de almacenamiento a condiciones ambientales (Medias \pm sd para n=5)

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Relación °Brix/% Ácido Cítrico

Los SST junto con la cantidad de ácidos orgánicos determinan el sabor del fruto de limón. La relación SST/ acidez se ha venido aplicando como índice de madurez o calidad en frutos de cítricos (Burton, 1992). En este contexto, al inicio del experimento dicha relación resultó estadísticamente igual ($p < 0.05$) para las tres variedades en estudio alcanzando valores de 1.38, 1.32 y 1.39 para “Colimon”, ‘Colimex’ y ‘Lise’, respectivamente (Cuadro 6), aumentando tras 8 días a las condiciones ambientales hasta 1.88, 1.65 y 1.64, en el mismo orden, debido al aumento en °Brix y disminución del contenido de ácido cítrico, produciéndose por lo tanto un cambio en el sabor de los frutos. Es de señalar que en general, por su variada utilización en alimentos, los frutos de limón mexicano se prefieren en estado verde y alta acidez, por lo que las variedades ‘Colimex’ y ‘Lise’ mantuvieron una relación más cercana a su sabor inicial. Se ha reportado que en cítricos la relación °Brix/Acidez aumenta en postcosecha, siendo su límite un estado de senescencia avanzada (Rodríguez *et al.*, 2007).

5.1.4 Color

De acuerdo con Agustí (2003), el proceso de síntesis (everdecimiento) o pérdida de clorofila (desverdizado), son consecuencia de la transformación reversible de los cloroplastos del exocarpo en cromoplastos; siendo la acumulación de azúcares en este tejido, durante la maduración, el principal factor regulador de la coloración del fruto y por tanto, de la metamorfosis de los plastidios. Durante el proceso de maduración y senescencia el color del limón tiende a cambiar del tono verde característico al amarillo, debido principalmente a la hidrólisis de clorofila vía clorofilasas. En la presente investigación se determinaron, en los periodos de almacenamiento establecido, los cambios en el color de la cáscara en base al Índice de Color ($IC=1000a/bL$). De acuerdo con los resultados obtenidos (Cuadro 6, Figura 18) se observó que al inicio del almacenamiento no se presentaron diferencias estadísticas significativa ($p<0.05$) en las medias del IC entre las variedades 'Colimex'(-23.2) y 'Lise' (-22.2), pero si entre éstas la variedad 'Colimon' (-26.6), observándose en este último una tonalidad verde más intensa en comparación con las otras dos variedades (Figura19). Durante el almacenamiento, en todas las variedades el índice de color disminuyó drásticamente con diferencias significativas, a partir del segundo día, hasta valores de 12.9, 11.4 y 10.6 para 'Colimon' , 'Colimex' y 'Lise', respectivamente, siendo esta disminución más lenta hasta alcanzar valores de 9.8, 8.6 y 8.9, en el mismo orden, manteniendo siempre la variedad 'Colimon' una tonalidad más verde. Se ha sugerido (Artés-Hernández y Artés, 2008), que 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 con esto la pérdida de clorofila o desverdización. Esta situación permite asumir que la variedad "Colimon" presenta un proceso de senescencia más lento y por tanto una actividad respiratoria e hidrólisis de clorofila es más lenta, resultando en una tonalidad más verde.

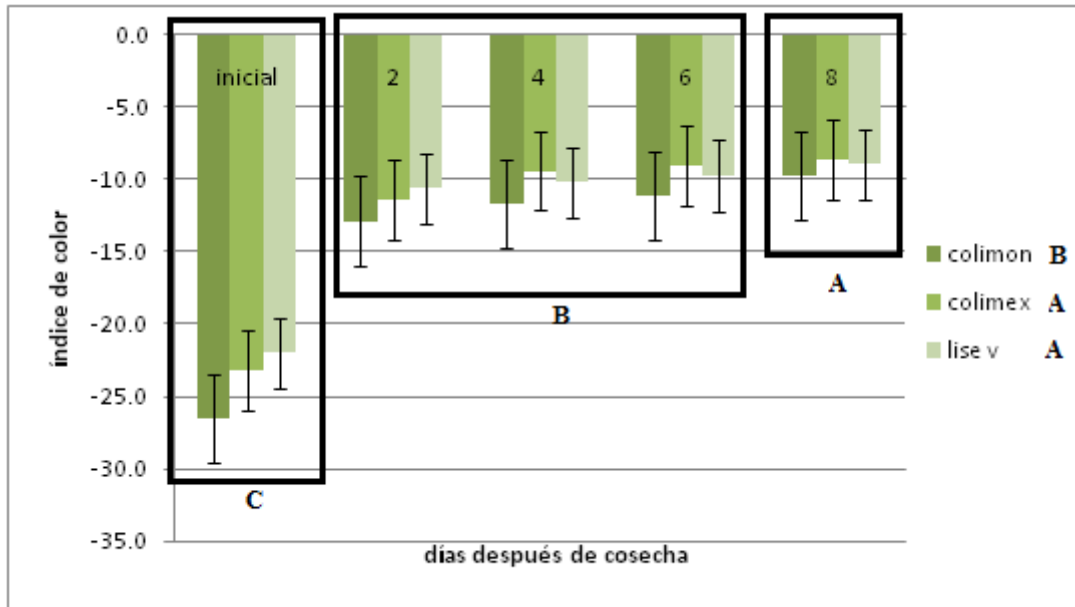


Figura18. Cambio en Índice de color (IC) después de 8 días de almacenamiento a condiciones ambientales. (Medias \pm sd para n=10)

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes



Figura 19. Cambio de color en las variedades durante los días de medición

5.1.5 Ácido ascórbico o Vitamina C

En la Figura 20 se presenta el cambio en el contenido de ácido ascórbico durante el periodo de almacenamiento a $22 \pm 2^{\circ}$ C por ocho días. Al inicio del experimento no se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el contenido de ácido ascórbico, alcanzando valores de 42.4, 46.9 y 43.2 mg/100 mL de jugo para 'Colimon', 'Colimex' y 'Lise', respectivamente; sin embargo,

conforme evolucionó el periodo de almacenamiento, los frutos de las tres variedades presentaron pérdidas significativas ($p < 0.05$) en el contenido de esta vitamina, disminuyendo sus valores, después de 8 días almacenamiento, hasta 27.6, 25.4 y 25.3 mg/100 mL, en el mismo orden, no observándose asimismo diferencias estadísticas entre variedades. En las tres variedades con respecto al tiempo si se consideró significativa ($p < 0.05$). Esta respuesta está relacionada con un efecto de oxidación del ácido ascórbico para formar ácido dehidroascórbico y otros productos subsecuentes, cambio que conlleva 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 temperatura (Belitz, 1997), algunos de los cuales están relacionados con el fenómeno de senescencia en cítricos. Se ha reportado (Saucedo-Veloz; Medina-Urrutia, 2008) que frutos de limón mexicano cosechados cuando han alcanzado color amarillo, presentan un menor contenido de ácido ascórbico (Vitamina C), lo que sugiere que las pérdidas de esta vitamina está relacionada con cambios en el grado de madurez de los frutos de limón mexicano, siendo mayor en frutos en estado verde y menor en amarillos.

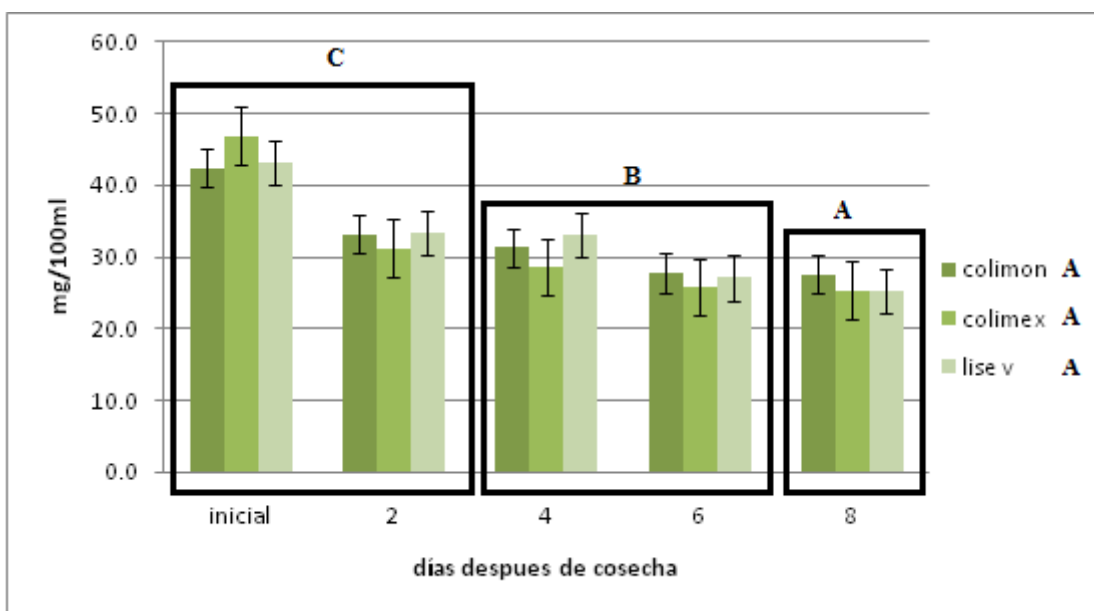


Figura 20. Cambio en la concentración de ácido ascórbico (mg/100ml) después de 8 días de almacenamiento a condiciones ambientales. (Medias \pm sd para n=5)

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

5.2 Análisis de componentes principales (ambiente)

5.2.1 Análisis de Componente Principal (Global)

Finalmente para la condición ambiente se hizo un ACP de manera global; es decir que se conjuntaron las tres variedades en los diferentes días de medición (Figura 21). Como se puede observar se formaron grupos de acuerdo al día de medida. Por ejemplo en un solo grupo y muy próximas entre sí se encuentran las tres variedades en el día inicial de medida. Por otro lado, se observa que los del grupo del día dos igualmente se presenta la conglomeración de las tres variedades. Para el día cuatro es cuando se comenzaron a presentar las diferencias entre las variedades, muy específicamente es el caso de 'Colimon' que se aleja totalmente de las otras dos variedades en ese mismo día de medida y sus datos están más próximos a los datos arrojados para el día ocho en las variedades 'Lise' y 'Colimex'. Aquí se puede observar más a detalle lo que se ha venido planteando desde análisis anteriores, que la variedad "Colimon" es la que difiere más respecto a las otras dos en especial en las variables % pérdida de peso, °Bx/ac, color y SST (Figura 22). También se puede observar que con dos PC1 se puede explicar el 98% de la varianza, siendo Vitamina C y ácido cítrico los que se correlacionan positivamente con este Componente Principal, mientras que el PC2 se correlaciona positivamente con SST, °Bx/ac y % pérdida de peso (Figura 23).

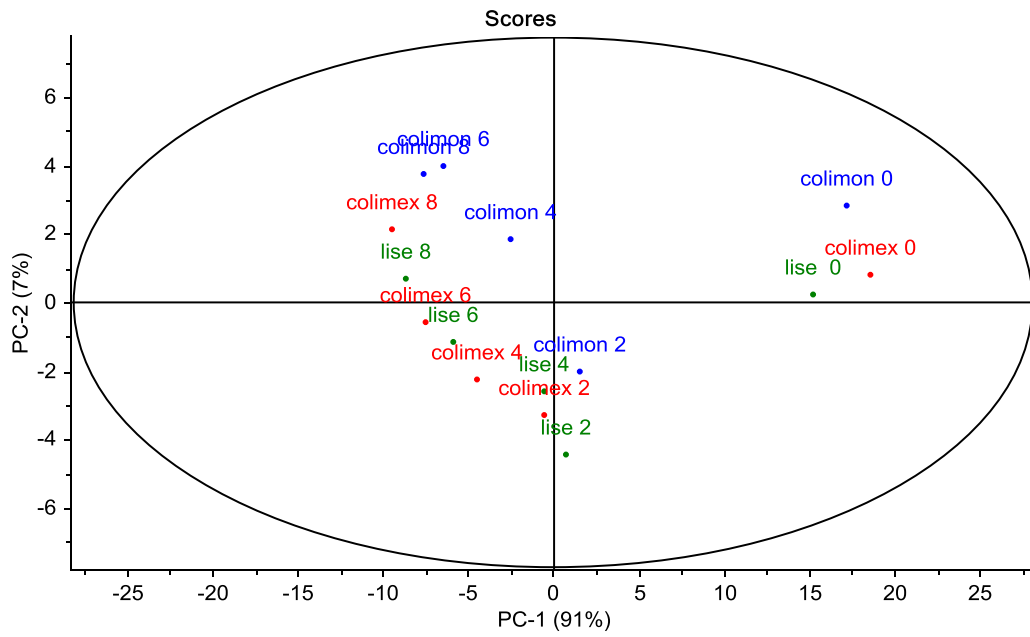


Figura 21. Variedades ubicadas en el plano de las dos componentes principales

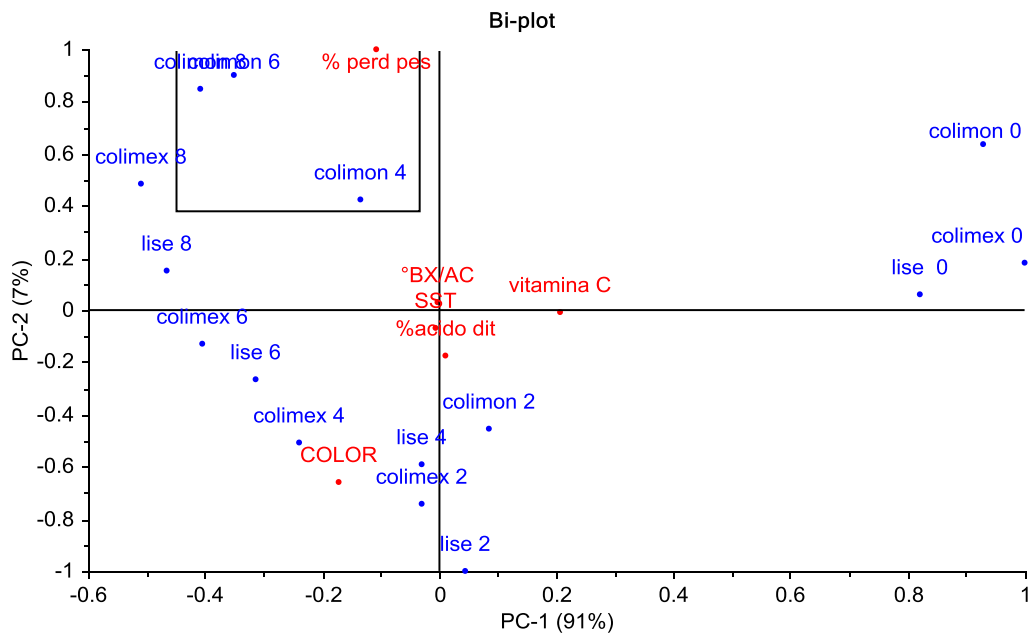


Figura 22. Espacio de las componentes con todas las variables para la variedad "Lise"

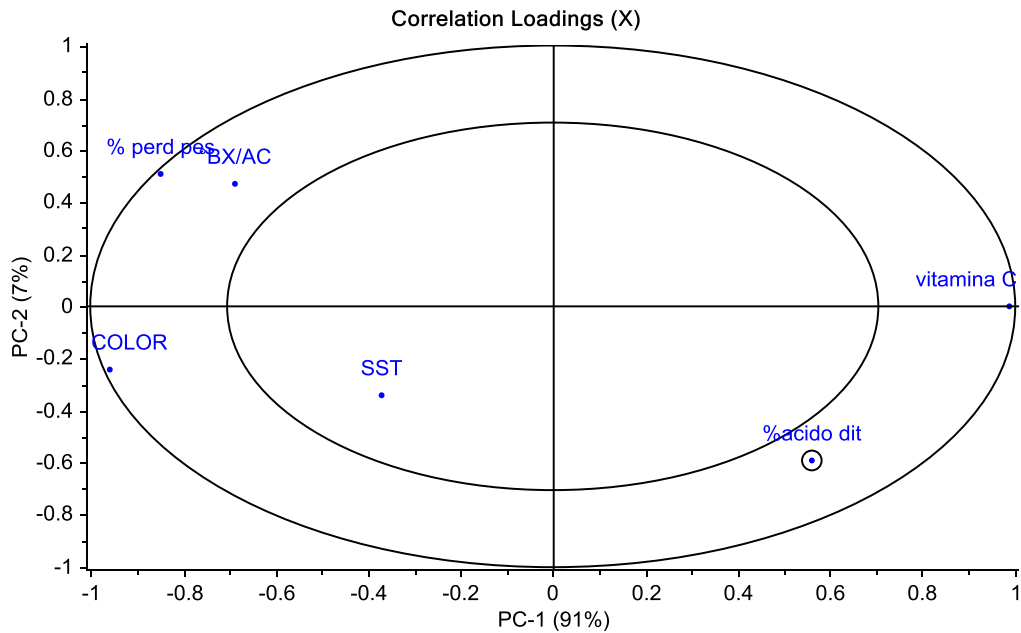


Figura 23. Correlación de variables en las tres variedades Temperatura ambiente.

5.2 Almacenamiento a condiciones de refrigeración

Para el estudio hecho bajo condiciones de refrigeración ($9\pm 1^\circ\text{C}$) y posterior exposición a condiciones de comercialización, se observaron variaciones en las propiedades de pérdida de peso y contenido de ácido ascórbico (vitamina C). Como era de esperarse, las pérdidas de peso resultaron mayores conforme se prolongó el tiempo de almacenamiento (Figura 24), alcanzando éstas valores a la salida de 2 semanas de refrigeración de 4.4, 5.4 y 3.3% para 'Colimon' , 'Colimex' y 'Lise' respectivamente; incrementándose éstas significativamente ($p < 0.05$) hasta 9.7, 9.2 y 8.8, en el mismo orden tras 4 días de exposición a 22°C (Cuadro 9). El almacenamiento por 4 semanas se manifestó en mayores pérdidas de peso, alcanzando a la salida niveles de 10.1, 9.2 y 7.3% para 'Colimon' , 'Colimex' y 'Lise' respectivamente e incrementándose a 12.4, 9.2 y 9.8%, en el mismo orden, después de 2 días a las condiciones ambientales (Cuadro 8). Después de 6 semanas, las pérdidas de peso a la salida de refrigeración se incrementaron 13.2% ('Colimon'), 13.3% (Colimex) y 10.2% ('Lise'); así como 15.2% ('Colimon') y 12.2% ('Lise') tras 2 días a la temperatura ambiente (Cuadro 9). Es de señalar que, en el caso de los frutos

almacenados por 2 semanas, las tres variedades presentaron aceptables características de calidad tanto a la salida de refrigeración como tras 4 días a la temperatura ambiente, no observándose síntomas de senescencia avanzada (marchitamiento y amarillamiento); esta respuesta sugiere que pérdidas de peso menores a 10% no afectan significativamente la calidad comercial de los frutos de limón mexicano, sobre todo en la variedad 'Lise'. Después de 4 semanas los frutos de la variedad 'Colimex' presentaron, a la salida de la frigoconservación, síntomas de senescencia avanzada (amarillamiento y marchitamiento) mismos que disminuyeron significativamente su calidad, alcanzando después de 2 días al ambiente una condición de no comercializables. En lo que se refiere a los frutos de la variedad 'Lise', los frutos presentaron calidad comercial tanto a la salida de la refrigeración como después de dos días a las condiciones ambientales; no así los de la variedad 'Colimon' que ya a la salida de la frigoconservación síntomas de daños por frío, mismos que se acentuaron tras dos días al 22° C, situación que disminuyó de manera importante su calidad comercial e incrementó las pérdidas de peso. La refrigeración por 6 semanas a $9\pm 1^{\circ}$ C, sólo mantuvo una calidad aceptable en la variedad 'Lise' a la salida del almacenamiento, siendo la principal limitante para su posterior comercialización a las condiciones ambientales las elevadas pérdidas de peso, así como el rápido amarillamiento y marchitamiento.

La ausencia de datos en la cuarta y sexta semana a los cuatro días, es debido a que los frutos ya se encontraban demasiado deteriorados.

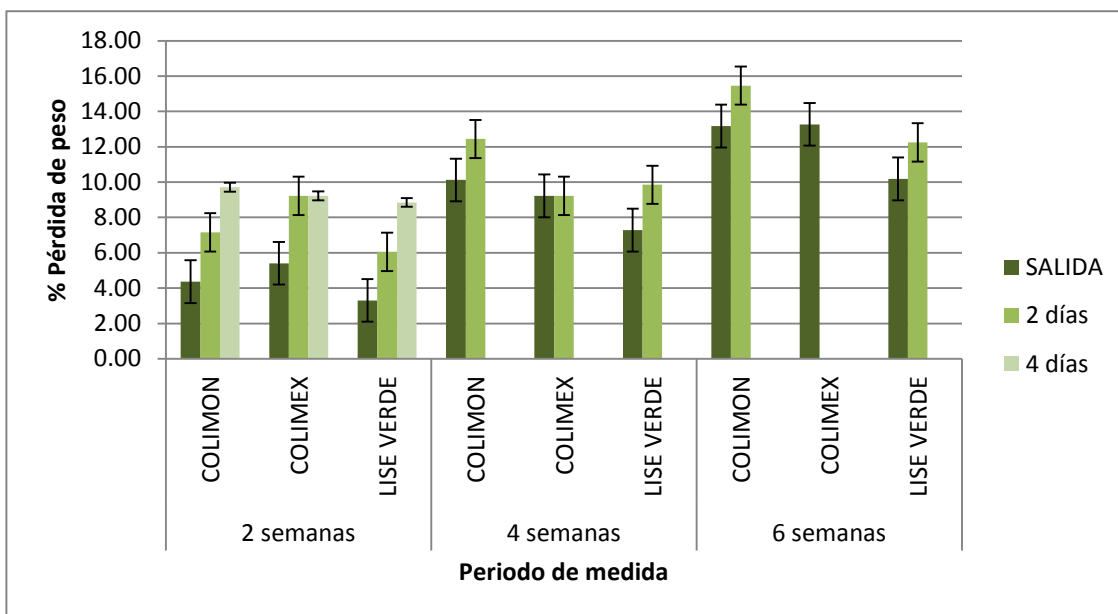


Figura 24. Pérdida de peso (%) en las tres variedades después de tres semanas de refrigeración. (Medias \pm sd para n=10)

Cuadro 9. Medias y Desviación estándar del % de pérdida de peso después de tres semanas de refrigeración en las variedades estudiadas

Refrigeración (9.0° C \pm 1.0° C)	Variedad	Pérdida de peso (%)		
		Salida	2 Días	4 Días
2 Semanas	‘Colimon’	4.4 \pm 0.2	7.2 \pm 0.3	9.7 \pm 0.5
	‘Colimex’	5.4 \pm 0.5	9.2 \pm 0.6	9.2 \pm 1.4
	‘Lise’	3.3 \pm 0.2	6.0 \pm 0.4	8.8 \pm 0.4
4 Semanas	‘Colimon’	10.1 \pm 0.3	12.4 \pm 0.6	–
	‘Colimex’	5.41 \pm 0.4	9.2 \pm 0.2	–
	‘Lise’	7.3 \pm 0.6	9.8 \pm 0.8	–
6 Semanas	‘Colimon’	13.2 \pm 1.0	15.2 \pm 0.5	–
	‘Colimex’	13.3 \pm 1.5	–	–
	‘Lise’	10.2 \pm 1.5	12.2 \pm 0.3	–



Figura 25. Limones después de dos semanas de refrigeración

El ácido ascórbico o Vitamina C es un derivado de azúcar de seis carbonos y se encuentra presente en todos los tejidos de las plantas superiores. La exposición prolongada al aire o a los iones de hierro y cobre la destruyen, y se deteriora lentamente a pesar de mantenerse a temperaturas de refrigeración (Cuamatzi, 2004). En el Cuadro 10 se puede observar que la variedad ‘Lise’ presentó una menor proporción de pérdidas de ácido ascórbico durante el almacenamiento a $9\pm 1^{\circ}$ C por 2 semanas; sin embargo, tras la exposición a las condiciones de comercialización ($22\pm 2^{\circ}$ C) los frutos de la variedad ‘Colimex’ resultaron con las menores pérdidas de ácido ascórbico. Por su parte, los frutos de la variedad ‘Colimon’ fueron los que presentaron la menor proporción de pérdidas de esta vitamina al final del periodo de 4 semanas de frigoconservación, siendo ‘Colimex’ el que mantiene una mayor proporción de ácido ascórbico tras dos días de exposición a las condiciones ambientales. Estas respuestas sugieren un comportamiento diferente entre variedades como respuesta a la incidencia de daños en la cáscara y por tanto cambios en su mecanismo de transporte de gases; además de un metabolismo particular entre las mismas.

Cuadro 10. Medias y Desviación estándar en el contenido de ácido ascórbico (Vitamina C) después de tres semanas de refrigeración

<i>Refrigeración</i> (9.0° C \pm 1.0° C)	<i>Variedad</i>	<i>Concentración de ácido ascórbico (mL/100ml)</i>			
		<i>Inicial</i>	<i>Salida</i>	<i>2 Días</i>	<i>4 Días</i>
<i>2 Semanas</i>	“Colimon”	42.4 \pm 2.4	36.1 \pm 1.1	34.6 \pm 1.7	27.8 \pm 2.3
	‘Colimex’	41.9 \pm 2.1	39.2 \pm 0.8	38.1 \pm 0.2	38.2 \pm 1.0
	“Lise”	43.2 \pm 0.6	41.8 \pm 1.4	32.8 \pm 2.3	25.6 \pm 1.6
<i>4 Semanas</i>	“Colimon”	42.4 \pm 2.4	37 \pm 2.2	28.1 \pm 1.4	–
	‘Colimex’	46.9 \pm 2.1	35.3 \pm 1.2	31.6 \pm 0.3	–
	“Lise”	43.2 \pm 0.6	32.1 \pm 1.3	26.5 \pm 0.9	–
<i>6 Semanas</i>	“Colimon”	42.4 \pm 2.4	28.2 \pm 0.9	–	–
	‘Colimex’	46.9 \pm 2.1	26.3 \pm 0.8	–	–
	“Lise”	43.2 \pm 0.6	26.7 \pm 0.9	–	–

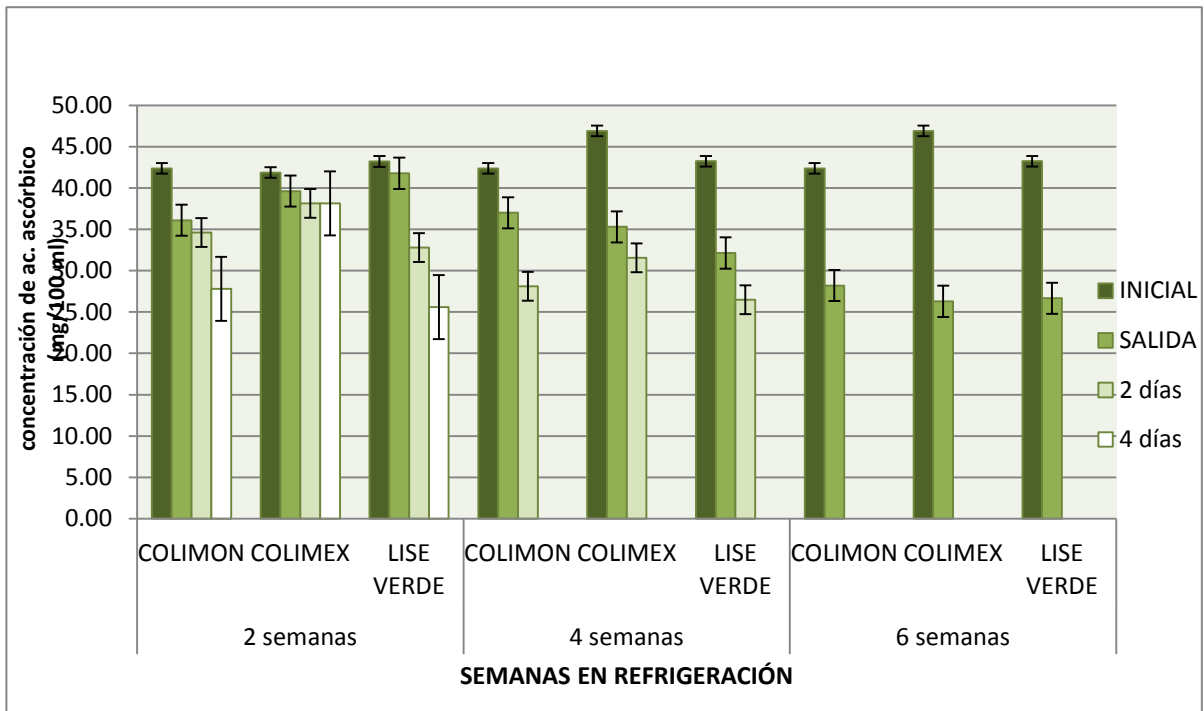


Figura 26. Variación en la concentración de ácido ascórbico después de seis semanas de refrigeración (Medias y sd n=5)

De acuerdo con los datos anteriores, se puede asumir que el almacenamiento por dos semanas a $9\pm 1^{\circ}\text{C}$, resulta factible para la conservación de frutos de limón mexicano en las tres variedades ('Colimon', 'Colimex' y 'Lise') estudiadas, siendo óptima su calidad a la salida de la temperatura de refrigeración y ocurriendo pérdidas en la calidad visual al exponerse a las condiciones de comercialización (22°C), situación que se favorece al aumentar las pérdidas de peso y al presentarse el fenómeno de amarillamiento, siendo este efecto menos acentuado en la variedad 'Lise' (Figura 25). La prolongación del tiempo de frigoconservación hasta 4 semanas, sólo resulta factible, en cuanto a calidad visual), para la variedad 'Lise' principalmente a la salida del almacenamiento y hasta dos días a la temperatura de comercialización; siendo en el caso de 'Colimon' limitante la incidencia de daños por frío y en los de la variedad 'Colimex' síntomas de senescencia avanzada. El tiempo de almacenamiento por 6 semanas afecta significativamente la calidad visual y nutricional en las tres variedades estudiadas. Es de señalar que la variedad que presento un deterioro más lento y menores pérdidas de peso fue 'Lise', pudiendo estar relacionada una menor incidencia de daños físicos debido a la no presencia de espinas en la planta, lo que se traduce en una menor actividad

metabólica; es de señalar que los frutos de esta variedad presentaron además una menor sensibilidad a daños por frío.

.

VI. CONCLUSIONES

Los frutos de limón provenientes de variedades sin espinas ('Lise') presentan un menor índice de daños en la calidad externa, debido a que la cosecha se facilita por la ausencia de espinas y por ende hay menos daños mecánicos (picaduras, rozaduras) que se traducen en menores pérdidas de peso en comparación con aquellos limones provenientes de variedades con espinas ('Colimon' y 'Colimex')

Los frutos sin semilla ('Colimon') presentan mayor calidad postcosecha externa durante periodos de almacenamiento a temperatura ambiente, en comparación a los frutos con semilla ('Colimex'), y el proceso de desverdización es más lento debido a que la cantidad de SST es menor desde su cosecha, esto por la ausencia de semillas.

Las variedades provenientes de árboles sin espinas y con espinas que dan frutos con semilla son muy similares respecto a su sabor (SST, ácido cítrico y relación °Bx/%ácido cítrico), es decir, que su calidad interna es muy similar.

Los frutos con semilla presentan calidad interna mayor en comparación con los frutos de sin semilla, en especial referente al sabor.

Resulta factible el almacenamiento a $9\pm 1^{\circ}$ C por dos semanas para la conservación de frutos de limón mexicano en las tres variedades ('Colimon', 'Colimex' y 'Lise'), siendo óptima su calidad a la salida de la temperatura de refrigeración y ocurriendo pérdidas en la calidad visual al exponerse a las condiciones de comercialización (22° C), situación que se favorece al aumentar las pérdidas de peso y al presentarse el fenómeno de amarillamiento, siendo este efecto menos acentuado en la variedad sin espinas ('Lise').

La prolongación del tiempo de frigoconservación hasta 4 semanas, sólo resultó factible, en cuanto a calidad visual, para la variedad sin espinas ('Lise') principalmente a la salida del almacenamiento y hasta dos días a la

temperatura de comercialización. Para las tres variedades un tiempo de almacenamiento bajo condiciones de refrigeración 6 semanas afecta significativamente la calidad visual.

En general la variedad que presentó un deterioro más lento y menores pérdidas de peso en las dos condiciones estudiadas (almacenamiento y refrigeración) fue 'Lise', pudiendo estar relacionada una menor incidencia de daños físicos debido a la no presencia de espinas en la planta, lo que se traduce en una menor actividad metabólica;

La variable que presentó mayor cambio a través del tiempo tanto en ambiente como en refrigeración fue Vitamina C, seguida de ácido cítrico; juntas explican casi el 100% de la varianza a través del tiempo. Esto significa que la pérdida del valor nutricional del limón es muy acelerada después de la cosecha en las tres variedades y a pesar de que haya diferencias morfológicas entre estas variedades, estas características no influyen en la degradación de la Vitamina C.

VII. RECOMENDACIONES

El tiempo de conservación puede ser mayor aplicando emulsiones de ceras y además utilizando una tecnología para control de daños por fríos.

Así mismo una de las tecnologías para mantener por más tiempo el color verde requerirá de un enfoque que contemple el uso de bioreguladores (ácido giberélico) ya sea en precosecha o postcosecha.

VIII. BIBLIOGRAFIA

A.O.A.C 2000. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. Ed. Washington. 268 páginas.

Agusti, M. 2003. Citricultura. Mundi-Prensa. España. 422 páginas.

Alcalde, P. 2007. Calidad. Editorial Paraninfo. 64 páginas.

Aranceta, J. 2006. Elsevier. España. 268 páginas

Artés-Hernández y Artés F.2008. Modificación de la atmósfera y otras alternativas a los agroquímicos para preservar la calidad en su frigoconservación. En: Tópicos em qualidade e pos-colheita de frutas. Tópicos en calidad y poscosecha de frutos. Editores: Nascimento. Campinas (Brasil). Cap.7: 93-109.

Barahona C.M., E.Sancho. 2000. Fruticultura I. EUNED. USA. 146 páginas.

Belitz, W. G. 1997. Química de los alimentos. Editorial ACRIBIA, Zaragoza, España. 567 páginas

Benavente-García, O; J. Castillo.2008. Update on Uses and Properties of *Citrus* Flavonoids: New Findings in Anticancer, Cardiovascular, and Anti-inflammatory Activity. Journal Agric. Food Chem; ASAP Article. p 185-205.

Burton, W.G. 1992. Post- Harvest physiology of food crops. UNSW Press. USA. 352 páginas.

Cuamatzi, T.O. 2004. Bioquímica de los procesos metabólicos. Reverté. 364 páginas.

Cuquerella, J. y P. Navarro. 1997. Medidas objetivas de la calidad en frutos cítricos con tratamiento de cuarentena por frío. En Medición de la calidad en frutos tropicales y subtropicales con tratamientos físicos de cuarentena. Valencia España. Ed. IVIA. p 112-123

FAOSTAT (Food and Agriculture Organization, basic Statistical). 2009. Versión electrónica. Disponible en: <http://www.fao.org>. Fecha de consulta: julio de 2010.

Garza L., M.E. Ovando C., X. Chávez C. y F.A. Félix C. 2001. El cultivo del limón Mexicano. INIFAP. Libro Técnico Núm. 1. México 188 páginas.

Haro-García, A. 2005. La naranja. Instituto de nutrición de los Alimentos. España. 6 páginas.

Hensz A. R. 1977. Mutation breeding and the development of Star Grapefruit. proc. Int. Soc. Citriculture p. 282-285.

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. p 65-68.

Hutchings J.B., 1999. Food Color and Appearance. Segunda edición. Ed. Aspen. USA. 610 páginas.

Johnson I.T. 2001. Antioxidants and antitumour properties. In: Antioxidants in food. CRS press USA. p 100-123.

Kader, A.A. 1985. Ethylene-induced senescence and physiological disorders in harvested horticultural crops. HortScience. 20:54-57

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

Maroto, J.V. 2005. 2ª.ed. Horticultura Herbácea especial. Ed. Mundi-Prensa. 480 páginas.

Medina-Urrutia., V.M., M.M. Robles G., S. Becerra R., J. Orozco R., M. Orozco S., J. G. 2007. Fenología, eficiencia productiva y calidad de fruta de cultivares de naranjo en el Trópico Seco de México. Revista Fitotecnia Mexicana. Año/vol. 30. Sociedad Mexicana de Fitotegenética A.C. Chapingo, México. p 133-143.

Medina-Urrutia, V.M.; M.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.

Micke, A. B., Donini y M. Manuzynski. 1987. Induced mutations for crop improvement. A. 120 páginas.

NMX-FF-087-SCFI-2001. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-fruta fresca-limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle).

PC-024-2005. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial "mexico calidad suprema" en limón mexicano. SAGARPA-BANCOMEXT. 33 páginas.

Pérez-Acevedo, Y. 2005. Eventos fisiológicos asociados a la madurez y calidad de los frutos cítricos en Cuba y su relación con los productos transformados en la industria. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. Cuba. 23 páginas.

Robles-González, M.; S. Carrillo-Medrano; J. Manzanilla-Ramirez,; J. Velázquez-Monreal; V. Medina-Urrutia. 2010. Mejoramiento genético de limón

mexicano: avances y perspectivas. En: VI Simposium Internacional Citrícola. Noviembre, 2010. Tecomán, Colima. p. 93-110.

Rodriguez R.E., Hernández S.M. y Diaz R.C. 2007. Food Chemistry. Spain. 106(3) ; 1046-1056.

Saucedo-Veloz C. 2005. Sistemas de manejo Post-cosecha de limas ácidas (limón 'Persa' y limón 'Mexicano'. Actas del II Seminario internacional Post-cosecha de cítricos. Concordia entre Ríos- Argentina 17-20 de octubre 2005. p. 65-69.

Saucedo-Veloz, C. y V. Medina-Urrutia. 2008. Problemas del manejo poscosecha y comercialización de limas ácidas en México. . En: Tópicos em qualidade e pos-colheita de frutas. Tópicos en calidad y poscosecha de frutos. Editores: Nascimento. Campinas (Brasil).Cap.7: 93-109.

SDR. 2005. Secretaria de Desarrollo Rural. Disponible en: <http://www.cesavecol.com.mx/archivos/LIMON.pdf> Consultado en mayo de 2011.

Serra,J.A. y G. Bugueño. 2004. Gestión de calidad en pymes agroalimentarias. Universidad Politécnica de Valencia. 458 páginas.

Seymour G.B., J.E. Taylor, G.A. Tucker. 1993. Biochemistry of Fruit Ripening. Ed Chapman and Hall. New York. USA. 445 páginas.

SIACON, 2011. 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 junio de 2011.

SIAP, 2010. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en : <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado en Mayo de 2011.

Sormani, M.I., V. De Francesco, M. Biondino y C. González. 2009. El fruto. Disponible en:

<http://www.botanica.cnba.uba.ar/Trabprac/Tp5/frutonuevoFP.htm>. Fecha de consulta: enero, 2011.

Spiegel-Roy, P. Aliza-Vardí 1989. Induced mutations in citrus. proc. of 6th. Int. Congress. Of Sabrao p. 773.

Terrádez. M. 2009. Análisis de Componentes Principales. Universidad de Zaragoza. España. 18 páginas.

Timmer, L.W. 2002. Plagas y enfermedades de los cítricos. 2da Edición. Mundi-Prensa. 95 páginas.

Ting, S.V. and J.A. Attaway.1980. Citrus fruits. En: A.C.Hulme(ed). The Biochemistry of Fruits and Their Productos. Academic Press. Inc. London. pp. 107-169.

Vázquez, D. 2008. Daños causados por Frío en Poscosecha de Cítricos. En: Tópicos em qualidade e pos-colheita de frutas. Tópicos en calidad y poscosecha de frutos. Editores: Nascimento. Campinas (Brasil). Cap.7: 93-109.

Villagómez-Almaza J., G. Reyes-Martínez, S. Díaz-González. 2010. Plan estratégico para mitigar el impacto de Huanglongbing (HLB) sobre la citricultura del estado de Colima. En VI Simposio Internacional Citrícola. Colima, México. p 74-91

Villardón, J.L. 2008. Análisis de Componentes Principales. Disponible en: <http://biplot.usal.es/DOCTORADO/3CICLO/BIENIO-04-06/ACP/ACP.pdf>. Consultado en Agosto de 2011.

Viloria, Z. and J. W. Grosser. 2005. Acid citrus fruit improvement via interploid hybridization using allotetraploid somatic hybrid and antotetraploid breeding parents. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130 (3): 392-402.