



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS  
AGRICOLAS

## **CAMPUS MONTECILLO**

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
FRUTICULTURA

**EVALUACIÓN DE FACTORES EN COSECHA Y DE MANEJO  
POSTCOSECHA QUE INCIDEN EN LA CALIDAD DE FRUTOS  
DE LIMÓN MEXICANO (*Citrus aurantifolia* Swingle)**

**FROYLAN RODRIGUEZ NOVOA**

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2008**

La presente tesis, titulada: **Evaluación de factores en cosecha y de manejo postcosecha que inciden en la calidad de frutos de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle)**, realizada por el alumno: **Froylan Rodríguez Novoa**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS**

### **RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD FRUTICULTURA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

\_\_\_\_\_  
Dr. Crescenciano Saucedo Veloz

ASESORA:

\_\_\_\_\_  
Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza

ASESORA:

\_\_\_\_\_  
Dra. Martha Elva Ramírez Guzmán

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2008

## **AGRADECIMIENTOS**

**A MÉXICO, QUIEN A TRAVÉS DEL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT), ME OTORGO LA BECA PARA MIS ESTUDIOS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN EL PROGRAMA DE FRUTICULTURA DEL COLEGIO DE POSTGRADUADOS.**

**AL COLEGIO DE POSTGRADUADOS Y EN PARTICULAR AL PROGRAMA DE FRUTICULTURA, POR LA OPORTUNIDAD DE REALIZAR MIS ESTUDIOS EN SUS AULAS Y LABORATORIOS.**

**AL DR. CRESCENCIANO SAUCEDO VELOZ, PROFESOR CONSEJERO Y DIRECTOR DE TESIS, POR SU APOYO INCONDICIONAL, POR SU DISPONIBILIDAD Y SUS VALIOSAS SUGERENCIAS EN TODO MOMENTO EN ESTE TRABAJO Y EN MIS ESTUDIOS.**

**A LA DRA. MA. DE LOURDES ARÉVALO GALARZA, POR SU ASESORÍA Y SU INVALUABLE APOYO PARA LA CULMINACIÓN DE ESTE TRABAJO.**

**A LA DRA. MARTHA ELVA RAMÍREZ GUZMÁN, POR EL INCONDICIONAL APOYO, ENSEÑANZAS Y SUGERENCIAS PARA ESTE TRABAJO.**

**AL SR. ARTURO LÓPEZ VELOZ, POR TODO SU APOYO, PACIENCIA, ALIENTO Y CONSEJOS PARA CONTINUAR CON MIS ESTUDIOS Y ESTE TRABAJO.**

**AL M.C. DAVID JAÉN CONTRERAS, POR SUS SUGERENCIAS Y CONSEJOS EN MI ESTANCIA EN EL COLEGIO.**

**A LAS SECRETARIAS OLGA Y ROCÍO DEL PROGRAMA DE FRUTICULTURA, POR SU TRABAJO Y DISPOSICIÓN EN MIS ESTUDIOS Y DE ESTE TRABAJO.**

## **DEDICATORIA**

**A DIOS POR HABERME DADO OTRA OPORTUNIDAD Y SEGUIR AQUÍ....**

**A MI MADRE MARTHA IRMA NOVOA LAURENT, LA CUAL LE DEBO TODO LO QUE SOY Y LO QUE SERÉ, GRACIAS MAMÁ POR DARMER LA VIDA Y POR SER EL PILAR DE MI VIDA. TODO LO QUE ME HAS APOYADO CON TUS SABIOS CONSEJOS Y POR AGUANTAR TODOS AQUELLOS MALOS MOMENTOS.**

**A KARLA SELENE ESPINOSA PÉREZ (NENA), POR DARMER TANTO AMOR, TOLERANCIA Y ESTAR CONMIGO EN TODO MOMENTO Y SER LA COMPAÑERA DE MI VIDA.**

**MUY EN ESPECIAL A MI BEBE QUE VIENE EN CAMINO Y QUE ES LA ILUSIÓN DE MI VIDA, QUE ESTOY LOCO POR QUE ME DIGA PAPÁ Y SE SIENTA ORGULLOSO DE MI.**

**A MI PADRE POR QUE APRENDÍ MUCHO DE ÉL**

**A MI HERMANA MARTHA NOVOA (GARU), POR LO MUCHO QUE ME APOYA Y ME ESCUCHA, ASÍ COMO TODO LO QUE HEMOS VIVIDO JUNTOS.**

**A MI HERMANO FRANCISCO NOVOA, POR QUE A PESAR DE TODO SIEMPRE ESTA CONMIGO Y POR SU APOYO INCONDICIONAL.**

**A MIS SOBRINOS MARTHA LILIANA Y FRANCISCO JAVIER POR QUE LOS HE VISTO CRECER CONMIGO.**

**A MIS AMIGOS DEL COLEGIO, YA QUE GRACIAS A SU AMISTAD MI ESTANCIA EN EL COLEGIO NO PUDO SER MEJOR.**

**A MI AMIGO EL ING. GUILLERMO GARCÍA TORRES, POR QUE APARTE DE COMPARTIR EL TRABAJO, ME HA ENSEÑADO A SER MEJOR.**

**EN MEMORIA DE ARMANDO PÉREZ MENÉNDEZ †**

**“MAMÁ TE DEBO TODO”**

## CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	Página vii
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
<b>I.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II.- REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
2.1. Características generales del limón mexicano	3
2.2. Particularidades del cultivo	3
2.3. Factores precosecha que afectan la calidad en postcosecha	4
2.4. Fisiología Postcosecha	6
2.5. Manejo Postcosecha	7
2.6. Aplicación de ceras	10
2.7. Daños por frío	10
2.8. Control de daños postcosecha	13
2.9. Empaque de limón mexicano	16
2.10. Calidad de limón mexicano	17
<b>III. OBJETIVOS</b>	<b>19</b>
3.1. Objetivo General	19
3.2. Objetivos Particulares	19
<b>IV. HIPÓTESIS</b>	<b>20</b>
4.1. Hipótesis General	20
4.2. Hipótesis Particulares	20

<b>V. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	21
5.1. Localización y Características de la Zona Experimental	21
5.2. Relación de Experimentos	21
5.3. Experimento 1	22
5.4. Experimento 2	25
5.5. Experimento 3	28
5.6. Metodologías de Evaluación	31
<b>VI. RESULTADOS</b>	33
<b>VII. DISCUSIÓN</b>	66
<b>VII. CONCLUSIONES</b>	69
<b>VIII. LITERATURA CITADA</b>	72

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Tratamientos generados para método de corte en campo para daños mecánicos experimento 1.	23
Cuadro 2. Tratamientos generados para hora de cosecha en campo para evaluar la calidad postcosecha experimento1.	23
Cuadro 3. Tratamientos generados para grado de madurez para evaluar la calidad postcosecha experimento1.	24
Cuadro 4. Variables analizadas en el experimento 1.	24
Cuadro 5. Tratamientos generados en empaque para daños mecánicos experimento 2.	27
Cuadro 6. Variables analizadas en el experimento 2.	27
Cuadro 7. Tratamientos generados en laboratorio para experimento 3.	29
Cuadro 8. Variables analizadas en el experimento 3.	30
Cuadro 9. Resultados de los análisis de varianza del experimento factorial método de corte* hora de cosecha* grado de madurez en condiciones de almacenamiento de limón.	33
Cuadro 10. Efecto del grado de madurez, método y hora de cosecha sobre las pérdidas de peso, color de frutos, SST y acidez titulable de frutos de limón mexicano almacenados a $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR.	39
Cuadro 11. Efecto del método y momento de cosecha sobre la incidencia de daños en frutos de limón mexicano (valores al momento de cosecha)	42
Cuadro 12. Resultados de los análisis de varianza del experimento factorial método de recepción* grado de tecnificación en condiciones de almacenamiento de limón.	49
Cuadro 13. Efecto del método de recepción y grado de tecnificación del empaque sobre las pérdidas de peso, color de frutos, SST y acidez titulable de frutos de limón mexicano almacenados a $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR.	53
Cuadro 14. Efecto del método de recepción y grado de tecnificación sobre la incidencia de daños en frutos de limón mexicano (valores al momento en empaque)	56
Cuadro 15. Resultados de los análisis de varianza del experimento del efecto de cera (carnauba)* película plástica (poliolefina) y testigo, después de 2 semanas en $20 \pm 2$ °C	60

Cuadro 16. Resultados de los análisis de varianza del experimento del efecto de cera (carnauba)\* película plástica (poliolefina) y testigo, después de 8 semanas en condiciones de refrigeración (8 °C)

63

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Efecto del método de cosecha sobre las pérdidas de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR).	34
Figura 2. Efecto del método de cosecha sobre las pérdidas de color de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR).	35
Figura 3. Efecto del método de cosecha sobre el Índice de daños de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR).	36
Figura 4. Efecto de la hora de cosecha sobre las pérdidas de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR).	37
Figura 5. Efecto de la hora de cosecha sobre el Índice de daños de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR).	38
Figura 6. Efecto del grado de madurez sobre las pérdidas de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR).	40
Figura 7. Efecto del grado de madurez sobre el Índice de daños de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR).	41
Figura 8. Pérdida de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR) considerando la interacción Método de corte y Hora de cosecha (MDC*Hora)	43
Figura 9. Pérdida de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR) considerando la interacción Método de corte y Grado de Madurez (MDC*GDM)	44
Figura 10. Índice de color de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR) considerando la interacción Método de corte y Grado de Madurez (MDC*GDM)	45
Figura 11. Pérdida de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR) considerando la interacción Hora de cosecha y Grado de Madurez (Hora*GDM)	46
Figura 12. Índice de color de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR) considerando la interacción Hora de cosecha y Grado de Madurez (Hora*GDM)	47
Figura 13. Efecto del método de recepción sobre las pérdidas de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR).	50
Figura 14. Efecto del método de recepción sobre las pérdidas de color de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR).	51
Figura 15. Efecto del método de recepción sobre el Índice de daños de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR).	52

Figura 16.	Efecto del grado de tecnificación sobre las pérdidas de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR).	54
Figura 17.	Efecto del grado de tecnificación sobre las pérdidas de color de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR).	55
Figura 18.	Efecto del grado de tecnificación sobre el índice de daños de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR).	56
Figura 19.	Perdida de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR) considerando la interacción Método de recepción y Grado de Tecnificación (MDR*GTEC)	57
Figura 20.	Perdida de color de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR) considerando la interacción Método de recepción y Grado de Tecnificación (MDR*GTEC)	58
Figura 21.	Índice de daños de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$ °C; $75 \pm 5\%$ HR) considerando la interacción Método de recepción y Grado de Tecnificación (MDR*GTEC)	59
Figura 22.	Efecto de los tratamientos sobre las pérdidas de peso de frutos de limón mexicano ( $20 \pm 2$ °C).	61
Figura 23.	Efecto de la aplicación de los tratamientos sobre el índice de color de frutos de limón mexicano ( $20 \pm 2$ °C).	62
Figura 24.	Efecto de los tratamientos sobre las pérdidas de peso de frutos de limón mexicano (8 °C).	64
Figura 25.	Efecto de los tratamientos sobre el índice de color de frutos de limón mexicano (8 °C).	64

## RESUMEN

Durante el manejo postcosecha de de limón mexicano (*Citrus aurantifolia Swingle*) existen diversos problemas, que deterioran la calidad de la fruta reflejándose en el cambio de color, pérdidas de peso (marchitamiento), incidencia o aparición de desordenes fisiológicos, daños mecánicos, además de las pérdidas de la calidad organoléptica y nutricional por lo tanto no es muy factible su llegada a mercados de exportación (Escalante *et al.*, 2003)

El maltrato de la fruta durante a línea de empaque es causado principalmente por golpes, picaduras de espinas, rozadura de ramas, excesiva humedad en el fruto repercuten en un rompimiento de las glándulas de aceite en la cáscara del fruto, así como la susceptibilidad al daño por plagas y enfermedades (Artes, 2000). En estas condiciones la vida útil de los frutos durante el almacenamiento y transporte al mercado se reduce sensiblemente y la apariencia resulta fuertemente afectada. Los esfuerzos por conservar los frutos en óptimas condiciones de refrigeración y atmósferas controladas resultan infructuosos cuando se almacenan, sometidos a un mal manejo (Yoong-Joon *et al.*, 2003)

Se estima que el 79 % del limón empacado presenta daños físicos y fisiológicos, que afectan la calidad de fruta de postcosecha y reducen su vida de anaquel (Escalante, 2003), por lo que se limita la expansión del mercado interno y se dificulta acceder al mercado de exportación.

En este trabajo se evalúan los principales factores que inciden en la calidad postcosecha y se identifican de los principales factores de deterioro, con lo que se pretende establecer tecnologías para reducir las pérdidas postcosecha y prolongar la vida de anaquel del producto y mantener la calidad del fruto para el mercado nacional y el de exportación.

**Palabras clave:** *Citrus aurantifolia*, pérdidas postcosecha, empaque

## ABSTRACT

During postharvest of Mexican lemon (*Citrus aurantifolia* Swingle) are several problems that decrease the quality of the fruit as degreening, weight losses, physiological disorders and mechanical damages, as well as off-flavor and loss of nutritional characteristics, so abroad marketing is not possible (Escalante *et al.*, 2003).

The damage of the fruit during the packing line is caused mainly by blows, punctures of thorns, galling of branches, excessive humidity in the fruit repel in a breaking of the oil glands in the rind of the fruit, as well as the susceptibility to the damage by pest and diseases (Artes, 2000). In these conditions the shelf life of the fruits during storage and transport is highly reduced and the appearance is strongly affected. The efforts to preserve the fruits in optimal conditions of refrigeration and controlled atmospheres are then unfruitful because from the previous manage (Yoong-Joon *et al.*, 2003).

Around 79 % of the packed fruit show physical and physiological damages, that affect the quality of postharvest fruit and reduce their shelf life (Escalante, 2003), that's why the growth of the internal market is slow and the exportations expansion is difficult .

The aim of this work was to evaluate the factors that affect the quality during postharvest and identify the deteriorative factors, then establish technologies to reduce the losses during postharvest and increased the shelf life of the product getting the quality for the local market as well as for the international market.

**Key words:** *Citrus aurantifolia*, postharvest losses, packing

## I. INTRODUCCIÓN

En México la superficie plantada con limas ácidas y limones se estima en más de 141 mil hectáreas con un producción de 1.88 millones de toneladas (FAOSTAT, 2007); siendo el 65.8% para limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle), el 32.7% por limón Persa (*Citrus latifolia* Tan.) y el 1.5% de limón verdadero (*Citrus limon*). Las plantaciones de limón mexicano se localizan en la Costa del Pacífico, principalmente en los estados de Colima, Michoacán, Oaxaca, Guerrero y Nayarit. Es de señalar que únicamente México, Brasil y Perú producen limón mexicano. Por otro lado, por cuestiones de calidad cerca del 65% de la producción de limón mexicano se destina al procesamiento para obtener aceite esencial; la cáscara se utiliza para la extracción de pectina y el restante 35 % se comercializa como fruta fresca para abastecer el mercado nacional (Medina *et al.*, 2003): en este sentido únicamente el 21% de la fruta destinada al mercado en fresco reúne las características de apariencia aceptable para su comercialización en los mercados destino. Por otro lado se han realizado diversos intentos para la exportación de estos frutos, que se ha limitado por problemas de calidad; se estima que existe en el mercado de los Estados Unidos un potencial de exportación de alrededor de 50,000 toneladas (Saucedo, 2007).

Los factores que afectan la calidad de los frutos de limón mexicano están relacionados con las características de producción sobre árboles con espinas, frutos de tamaño pequeño y dispersos en el árbol, heterogeneidad en el grado de madurez y senescencia acelerada; lo que los hace sensibles a daños: mecánicos, fitopatológicos y fisiológicos, los cuales demeritan tanto su calidad externa (pérdida de peso, color, presencia de daños físicos y bióticos) como interna (% de jugo, sabor, textura, aroma y Vitamina C), así como la calidad agroindustrial (contenido de aceites esencial y pectinas) y de vida postcosecha (Ramírez *et al.*, 2003).

Las características de cáscara delgada y baja acumulación de cera naturales (ceras extra e intracuticulares) de los frutos repercuten en alta sensibilidad a la pérdida de agua por transpiración (pérdida de peso), marchitamiento y amarillamiento (Escalante *et al.*, 2003).

Se ha estimado que en el caso de la zona productora de Tecoman, Colima del total de cajas producidas solamente el 30% se comercializa en fresco (Medina *et al.*, 2003). La evaluación de los factores que afectan la calidad de los frutos de limón mexicano resulta importante ya que incluye la reducción de daños mecánicos (heridas, golpes, deformaciones, picaduras y rozaduras), alteraciones fisiológicas (oleocelosis, rompimiento del extremo estilar y daños por frío), pudriciones, pérdidas de peso, así como cosecha de frutos con el grado de madurez más conveniente.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Características generales del limón mexicano

El limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle) y el limón Persa (*Citrus latifolia* Tanaka) forman parte al grupo de las limas acidas (Saunt, 1992); el árbol del limón mexicano produce frutos pequeños de cáscara lisa y delgada, numerosas semillas y jugo considerablemente ácido, mientras que los árboles de limón persa producen fruto grande de cáscara rugosa, sin semilla y moderadamente ácidos.

Desde el punto de vista botánico los frutos de limón constituyen una baya característica denominada hesperidio, anatómicamente el pericarpio esta compuesto por la cutícula, el epicarpio y los tejidos subepidérmicos, todos reciben el nombre de “flavedo” y en donde se lleva a cabo una alta actividad metabólica relacionada con los cambios de color, transporte de agua y gases y aquellos relacionados con la textura. En una descripción completa del fruto, realizada previamente por Schneider (1968), se observó que la estructura del fruto esta formada por pericarpio, vesículas, septos y eje.

De acuerdo con las evaluaciones realizadas por Harppich *et al.* (2001) se concluyó que el factor agua es el responsable en un 60% de las alteraciones físicas al fruto durante la precosecha y postcosecha del fruto de limón.

### 2.2. Particularidades del cultivo

El limón mexicano se cultiva bajo diferentes condiciones de clima y distintos tipos de suelo, en México los climas que son favorables para su crecimiento y producción: trópicos cálidos con temperaturas entre 24 °C y 30 °C. En el país existen terrenos que reúnen las condiciones edafoclimáticas para el limón en la costa del pacifico (Medina-Urrutia, 1997). En Colima, la planta crece, florece y

fructifica prácticamente durante todo el año, ya que se ha identificado que presenta varios flujos de floración durante un periodo que se extiende desde Noviembre hasta Abril.

La calidad externa e interna del limón es variable entre épocas de cosecha, debido al clima, al manejo de la huerta durante la producción y al manejo postcosecha del fruto lo cual influye en la vida de anaquel (Ramírez *et al.*, 2003). La consecuencia de múltiples floraciones hace que, el periodo de cosecha se extiende de Abril a Octubre por lo que los frutos de primavera, en Marzo y Abril, tardan de 110 a 130 días hasta la cosecha. En cambio, los frutos de verano se desarrollan más rápidamente y alcanzan su tamaño final en 90 a 100 días. Estas diferencias en la duración del crecimiento y desarrollo de los frutos, se debe fundamentalmente al efecto de la temperatura registrada en las diferentes épocas.

### **2.3. Factores precosecha que afectan lo calidad en postcosecha**

Diversos factores como: temperatura, luz, lluvias, viento y las prácticas de cultivo (nutrición mineral, portainjertos, época de cosecha, riego y aplicación de compuestos químicos), afectan significativamente los requerimientos de manejo postcosecha y la calidad de los frutos de limón mexicano (Saucedo, 2006). Al respecto se ha observado que el uso de diferentes portainjertos propician distinta calidad de fruta en lo que se refiere a tamaño y contenido de jugo, ácido cítrico y sólidos solubles totales, en cuyo caso los portainjertos Macrofila, Sherwassa y Naranja Agrio proporcionan frutos de mayor tamaño (38.0-38.9 g), siendo menor en Volkameriano, Morton y Cleopatra (31.8-34.3 g); Macrofila proporciona frutos con mayor contenido de jugo (45.2%) y Amblycarpa mayor concentración de ácido cítrico (10.0%); así mismo los frutos provenientes de plantas sobre Sherwassa y Norton resultan mas sensibles a daños por oleocelosis, en tanto que los Sunfi y naranja Agrio son menos proclives a las pérdidas de peso (Saucedo, 2006).

En cuanto al efecto de la variedad, en México la producción de limón se basa fundamentalmente en una variedad comercial conocida como mexicano con

espinas (MCE) o criollo, cuyos árboles son altamente productivos y la fruta es de excelente calidad interna para su consumo en fresco; además de que contienen una elevada proporción de aceite esencial apropiado para la industria y una cantidad importante de pectina también de alta calidad. Actualmente se cuenta con una variedad clonal denominada mexicano sin espinas (MSE), con características similares al MCE en cuanto a calidad de fruta tanto para consumo en fresco como de obtención de aceite esencial y contenido de pectinas (Medina *et al.*, 2001). La presencia de espinas, aunado a la forma de corte de la fruta, se traduce en pérdidas importantes de la calidad externa (evaluada por el grado de manchado de la cáscara provocada por la incidencia de daños físicos como picaduras y rozaduras) y el comportamiento fisiológico postcosecha al presentar los frutos mayores en cuanto a pérdidas de peso durante su almacenamiento.

En México, los frutos de limón mexicano se cosechan con base al tamaño (35-40 mm de diámetro), cáscara lisa, color verde brillante y contenido de jugo de  $45\pm 5\%$ . La cosecha de frutos sin el tamaño adecuado no solo se traduce en un menor contenido de jugo, sino también en frutos con mayor sensibilidad a las pérdidas de peso, marchitamiento, y daños por bajas temperaturas (daños por frío). Por otro lado, los frutos que se maduran en el árbol (amarillos) alcanzan un mayor tamaño y acumulan más jugo (contenido  $> 50\%$ ), además presentan la ventaja de ser menos proclives a las pérdidas de peso y tolerar temperaturas más bajas de almacenamiento, no obstante su contenido de ácido cítrico y ácido ascórbico (vitamina C) es menor y su sensibilidad al ataque de microorganismos aumenta (Escalante *et al.*, 2003). Los frutos muy pequeños y de color amarillo por lo general son eliminados en los empaques y se destinan a la industria, sobre todo en las épocas de más alta producción.

Frecuentemente los productores de limón aplican fuertes gastos para producir cosechas abundantes y de buena calidad; sin embargo, en ocasiones durante la cosecha se propicia la pérdida de un importante volumen de fruta en la última parte del proceso de producción, al efectuarse prácticas inadecuadas de cosecha que afectan la apariencia externa de los frutos y reducen su vida de postcosecha,

lo cual ocasiona pérdidas económicas tanto para productores como para empacadores. Aunque la cosecha del limón mexicano se realiza entre las 8:00 y 15:00 hrs., prevalece la idea de comenzar esta actividad tan pronto como los árboles pierdan la humedad que se acumula en la superficie de las hojas y del fruto. Se sabe que la cosecha de frutos húmedos favorece la incidencia 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. Experiencias previas han permitido establecer que la cosecha de fruta por la mañana, ocasiona mayor incidencia de oleocelosis en postcosecha, respecto a la realizada por la tarde; sin embargo, la hora de cosecha no sólo influye sobre la incidencia de oleocelosis sino también los frutos resultan sensibles a otros tipo de daños (Escalante *et al.*, 2003).

En cuanto a los métodos de cosecha, tradicionalmente esta se realiza utilizando redes de lona, ganchos con o sin red o de manera manual. El uso de red y ganchos propicia la cosecha de racimos de fruta con diferente tamaño por lo que en consecuencia al cosechar de esta manera hay una pérdida importante de fruta que no reúne el tamaño apropiado. La cosecha manual permite la recolección selectiva de fruta que alcanza la madurez y tamaño de corte apropiado; sin embargo, el proceso se hace más lento y costoso además de que en postcosecha son más proclives a pérdidas de peso (Medina *et al.*, 2003).

#### **2.4. Fisiología Postcosecha**

Debido a que el limón es un fruto no climatérico mientras no existan factores externos que cambien su composición no habrá un aumento en su respiración (Aung *et al.*, 2000). De acuerdo Refurgiato *et al.* (2000) los cítricos presentan un metabolismo adecuado a la respiración, por lo que la plena calidad organoléptica y nutricional sólo se alcanza durante su desarrollo en el árbol; su velocidad de respiración no experimenta cambios, manteniéndose en  $6 - 10 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  a  $20^\circ\text{C}$  (Kader, 2002), en tanto que se producción de etileno, a la misma temperatura,

permanece en  $0 - 0.1 \mu\text{l C}_2 \text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ . Algunos parámetros utilizados para evaluar la calidad y grado de madurez incluyen: tamaño, % de superficie externa con color verde, contenido de jugo, rugosidad del epicarpio y presencia de daños físicos; pudiendo también incluirse la relación SST/ ácido cítrico, contenido de ácido ascórbico (Vitamina C) y contenido de volátiles en jugo (etanol y acetaldehído) textura del fruto (Kader, 2002).

## **2.5. Manejo Postcosecha**

Como en todos los cítricos, las limas acidas una vez cosechadas, experimentan un metabolismo relacionado con el fenómeno de senescencia, caracterizado por pérdidas en la clorofila, elevada transpiración que conduce al marchitamiento y endurecimiento de la piel, reacciones de fermentación (producción de etanol), pérdidas del valor nutricional (principalmente vitamina C) e incremento del ataque de microorganismos causantes de pudriciones (Kader, 2002). Se ha reportado (Cuquerella *et al.*, 1988), 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 el control de patógenos y pérdidas de agua por transpiración, así como el empleo de inadecuadas condiciones de temperatura y humedad relativa para el almacenamiento y/o transporte del producto (principalmente inductoras de daños por frío). Entre las técnicas postcosecha que se han aplicado para mantener la calidad y extender la vida postcosecha de los frutos de limón mexicano se incluye principalmente:

- a) Combinación de aplicaciones precosecha con reguladores del crecimiento:

En el caso de limón mexicano los estudios realizados sobre la eficiencia de la aplicación de giberelinas, auxinas y citocininas, se centran en retardar las pérdidas del color verde; sin embargo, la disponibilidad de compuestos más activos y el mejoramiento de las tecnologías de aplicación (humectantes, compatibilidad y pH)

han dado resultados favorables en el retraso de la senescencia, tanto a condiciones de comercialización como en refrigeración. Algunas experiencias han mostrado que la aplicación de la combinación ácido giberélico ( $GA_3$  -20 mL L<sup>-1</sup>) + benciladenina (BA-15 mL L<sup>-1</sup>) en tres aplicaciones durante el crecimiento de frutos de limón mexicano, provoca que el fruto tenga mayor intensidad de color verde y mayor contenido de ácido ascórbico con relación al testigo al momento de cosecha. Después de 35 días de almacenamiento a 9 °C + 7 días a 20 ± 2° C, los frutos con el tratamiento mantuvieron mayor tonalidad verde, así como menores pérdidas de peso y pérdidas de vitamina C (Saucedo *et al.*, 2005).

b) Combinación de reguladores de crecimiento y emulsión de ceras:

Resulta conocido el efecto de los reguladores del crecimiento en controlar eventos fisiológicos como: floración, crecimiento del fruto, características de permeabilidad al transporte de gases, así como grosor y color de la cáscara en frutos cítricos (Nasar e Ismail, 2004). En este sentido, se ha señalado que las giberelinas exógenas retrasan los cambios en el metabolismo de pigmentos relacionados con el fenómeno de senescencia, tanto en frutos que permanecen en el árbol como en postcosecha. Por otro lado, las emulsiones de ceras resultan efectivas en el control de las pérdidas de agua y del color verde de la piel de cítricos. Algunas experiencias han demostrado que la combinación de estas dos tecnologías ( $AG_3$  30 µL L<sup>-1</sup> y cera de carnauba) permiten el almacenamiento de frutos de limón mexicano por seis semanas a 9 °C con características aceptables de calidad (Medina *et al.*, 2001).

c) Aplicación de atmosferas modificadas (ceras y películas plásticas)

En ambos casos, el efecto involucra el retraso del deterioro del producto debido a la evolución natural de la senescencia al reducir las pérdidas de agua por transpiración al establecer una atmósfera modificada con menor concentración de O<sub>2</sub> y alta de CO<sub>2</sub>, que se traduce en un retardo en las pérdidas de color verde de la piel, así como de los cambios bioquímicos y biofísicos involucrados con el deterioro del producto. La eficiencia de estos efectos, en el caso del encerado,

depende de la concentración de sólidos (preferible no >12%) y del tipo de cera (polietileno, carnauba o ceras comestibles) utilizada; en el caso de las películas plásticas de las características de barrera al intercambio de gases y vapor de agua, entre otros factores (Kader, 2002). El uso de las películas plásticas resulta más eficiente en relación al encerado en el control de las pérdidas de peso y del color verde y de la calidad interna en los frutos de limón mexicano; sin embargo, su aplicación a nivel comercial requiere de mayor investigación y alternativas tecnológicas.

c) Conservación frigorífica:

La temperatura óptima de almacenamiento del limón mexicano se sitúa en  $11\pm 1^{\circ}$  C y humedad relativa entre 85-90 % (Saucedo, 2005). Menores temperaturas favorecen la incidencia de daños por frío con lo cual se afecta significativamente la calidad de los frutos. Diversas tecnologías se han estudiado para mitigar los daños por frío entre las que se encuentran el uso de recubrimientos superficiales, el manejo de temperaturas, la aplicación de compuestos químicos (metil jasmonato) y la aplicación de reguladores de crecimiento. Diversas emulsiones de ceras han resultado eficaces en el control de daños por frío en diversas especies y cultivares de cítricos; no obstante, una óptima respuesta depende del tipo de cera y del contenido de sólidos en la emulsión ya que niveles elevados de estos últimos alteran el sistema de intercambio de gases del fruto, con el consecuente aumento de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera interna y la formación de volátiles de bajo peso molecular como etanol y acetaldehído (Saucedo, 2005).

De acuerdo con Wang (2000) la reducción gradual de temperatura (acondicionamiento), previo al almacenamiento refrigerado por debajo de la temperatura crítica, reduce la susceptibilidad a daños por frío en algunas especies y cultivares de cítricos. En limón mexicano el tratamiento con la combinación de cera+ácido giberélico+acondicionamiento ( $16^{\circ}\text{C}/3$  días,  $13^{\circ}\text{C}/2$  días y  $10^{\circ}\text{C}/2$ días) y posterior almacenamiento a  $7^{\circ}\text{C}$  por 2 y 4 semanas más 4 días a  $20^{\circ}\text{C}$ , redujo significativamente la aparición de daños por frío.

## **2.6. Aplicación de ceras**

La aplicación de compuestos cerosos es de gran interés porque influye en el mantenimiento de la calidad de la fruta durante el período de almacenamiento. En el caso de los frutos cítricos, esta aplicación tiene como finalidad modificar la atmósfera interna de los frutos, reducir su tasa de respiración y aminorar su deshidratación, lo que trae consigo una disminución en las pérdidas fisiológicas de peso y por lo tanto una mejora en la calidad postcosecha, lo cual se ha comprobado en mandarinas 'Clemenules' (Pérez-Gago *et al.*, 2003).

Además, los estudios de Meza-Rangel (2001) indican que las ceras reducen las manifestaciones de daños por frío en frutos de pomelo 'Ruby Red' (*Citrus paradisi* Macf.) a temperaturas de 1.1 °C durante 17 días de almacenamiento.

Actualmente existe una gran variedad de ceras susceptibles de utilizarse como protectoras de las frutas; la cera de carnauba es relativamente hidrofóbica y presenta una buena barrera a la pérdida de humedad, mientras que las cubiertas de polisacáridos son hidrofílicas y por eso generalmente tienen más alta permeabilidad al vapor de agua (Hagenmaier y Shaw, 1992).

## **2.7. Daños por frío**

El factor externo de mayor importancia que ayuda al control de la maduración del fruto es la temperatura; por esa razón, su manejo adecuado es fundamental para asegurar la conservación de los productos hortofrutícolas frescos (Thompson, 1987). Las temperaturas que usualmente se utilizan para la conservación, por lo general son ligeramente superiores a 0 °C. Sin embargo, a estas temperaturas y aun a temperaturas muy por arriba del punto de congelación, los frutos de origen tropical o subtropical sufren daños por frío (DPF) (Lyons *et al.*, 1979). Son muy numerosas las disfunciones celulares y las alteraciones fisiológicas y bioquímicas que induce el frío no congelante, pues generalmente estimula la tasa respiratoria y la emisión de etileno, reduce la fotosíntesis e interfiere en la producción de

energía, aumenta la energía de activación, retrasa la fluidez del protoplasma, aumenta la permeabilidad de la membrana, inactiva algunas enzimas, desarregla la membrana y altera la estructura celular (Wang, 1982, 2000).

En resumen, se puede decir que el daño por frío desencadena un proceso que se manifiesta en diversos desordenes fisiológicos cuyas causas aún se desconocen, aunque existen ciertas evidencias de que la refrigeración puede imponer estrés oxidativo sobre el tejido vegetal en especies susceptibles al frío, como es el caso de las mandarinas Nova y Fortuna (Sala, 1998).

En general, los frutos de limón son muy sensibles a los DPF cuando se almacenan a temperaturas inferiores a 10 °C. Esto limita el empleo de temperaturas aún más bajas y/o mayores tiempos de almacenamiento, provocando el picado de la piel (Wills *et al.*, 1998); Otros autores han observado que la temperatura crítica para limón (*Citrus limon* Eureka) es de 13°C, debido a que temperaturas inferiores propician desórdenes como manchado, picado y membranosis (Leguizamón *et al.*, 2001). Además, diversos autores indican que existen varios factores genéticos, fisiológicos y bioquímicos e incluso las condiciones térmicas del cultivo, que pueden favorecer los DPF (Watada, 1982).

Aunque no se conoce exactamente el desarrollo de los DPF, se sabe que estos tienen lugar en dos fases sucesivas. La primera se puede prolongar desde algunas horas (como en el caso del plátano o de la chirimoya) hasta algunos meses (manzana y pera), aunque lo más frecuente es una duración de aproximadamente dos semanas (como sucede en pepino, ejote, tomate o cítricos). Así, en un período inicial donde las alteraciones son tan leves que no se manifiestan los síntomas, se constituye la fase umbral de inducción o fase de latencia y los productos pueden retornar a un estado normal por simple calentamiento superior a la temperatura crítica. La segunda fase tiene lugar cuando, superado el umbral de inducción aparecen los síntomas y el daño es irreversible, por lo que la aplicación de una elevación moderada de la temperatura solo contribuye a acelerar su desarrollo (Artés, 1995).

Entre los desórdenes correspondientes a DPF presentes en el limón mexicano, la “oleocelosis” y el picado, se presentan más rápidamente en frutos golpeados y raspados, debido a que acondicionan o inducen la susceptibilidad de la fruta en el padecimiento de los desórdenes lo cual demerita de manera importante su calidad.

La cáscara del limón mexicano *Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle, es delgada y delicada por ello, cuando los frutos se someten a temperaturas de 7 y 10 °C, se presentan daños por frío aún cuando estén protegidos con emulsiones cerosas (Bosquez-Molina *et al.*, 2003). Además de los daños externos, también ocurren alteraciones internas que afectan la respiración, provocando anaerobiosis, lo que trae consigo la acumulación de metabolitos como el acetaldehído y el etanol, los cuales en concentraciones relativamente altas resultan tóxicos a tejidos y confieren mal sabor a los frutos, por lo que pueden ser indicadores en la evaluación de las alteraciones organolépticas, fisiológicas y patológicas antes de que se manifiesten los síntomas de DPF (Couey, 1982).

La oleocelosis está reconocida como un desorden de la superficie de la cáscara del limón (*Citrus limon*) (Obeland *et al.*, 1996 y 1997), puesto que la refrigeración incrementa grandemente la liberación de *d*-limonina, el aceite esencial más abundante en los limones (Shaw, 1979) caracterizado por una decoloración café que se presenta como consecuencia de la liberación del aceite de las glándulas oleíferas sobre la cáscara de las frutas dañadas (Sinclair, 1984). En el caso del limón mexicano, este problema es ocasionado principalmente por las condiciones climatológicas que se presentan durante la cosecha, principalmente por la combinación de alta humedad relativa y el manejo rudo de la fruta durante la cosecha. Este desorden es frecuente en frutos húmedos expuestos al sol, en frutos golpeados, etc. si los aceites son liberados internamente conducen a un colapso del tejido y al desarrollo de síntomas del daño (Obeland *et al.*, 1996).

El picado es un desorden de la cáscara que afecta la fruta almacenada en condiciones de elevadas temperaturas, después de haberse mantenido a baja temperatura. El desorden se caracteriza por las rupturas de las glándulas de aceite dispersas en la superficie de la fruta que inicia en áreas pequeñas y forma lesiones de color rojizo a negro, las células epidérmicas como consecuencia de la ruptura del tonoplasto como se ha mostrado en toronja, mandarina y naranja (Agustí, 2000).

## **2.8. Control de daños postcosecha**

En un estudio sobre atmósferas modificadas para minimizar el proceso de respuesta fisiológica en cítricos Palma *et al.*, (2003), demostraron que los días después de la cosecha, influyen directamente para obtener una respuesta mínima de los cítricos en sus procesos fisiológicos, por lo que menciona que a una temperatura de 5 °C existe alta actividad enzimática y de respiración; sin embargo a 1°C es cuando se logra minimizar estos dos procesos, sin afectar la apariencia de los frutos. Porat *et al.*, (2003) presentan evidencias del efecto que sufren los cítricos cuando se someten a una temperatura discontinua en un cuarto frío, ocasionando un desorden en la calidad del fruto, ya que en cortos periodos la variación de la temperatura provoca la actividad de las enzimas y la respiración del fruto.

Otra alternativa para conservar con calidad el limón es por medio de películas o cubiertas que tengan alta impermeabilidad a patógenos, aire y contaminantes (Bosque *et al.*, 2000), con esto limitar o restringir la incidencia de cualquier factor que afecte la calidad del fruto.

En estudio realizado por Saucedo *et al.* (2002) examinaron la reducción de daños por frío en limón, con la aplicación de una emulsión de cera, ácido gibérelico y su combinación durante ocho días donde los primeros tres a 16 °C , los siguientes dos a 13 °C y los últimos dos días a 10 °C, encontrando que los frutos con la combinación cera mas ácido gibérelico presentaron el menor índice y severidad de

daños por frío, así como menores pérdidas de peso, del color verde externo y calidad interna. Por lo tanto se concluyó que los frutos de limón mexicano con el tratamiento mencionado pueden almacenarse hasta por cuatro semanas a 7°C más cuatro días al ambiente con aceptables características de calidad para su comercialización.

Uno de los problemas marcados en la producción de limón es el daño por antracnosis (Ariza *et al.*, 2003). De acuerdo con el estudio sobre la tolerancia a este tipo de daños en frutos de limón de diferentes regiones, se concluyó que los frutos producidos en la región de Apatzingan, Michoacán son más tolerantes a daños por antracnosis, en comparación de los limones de Tecoman, Colima que son fácilmente inducidos a este tipo de daño (Castillo *et al.*, 2002).

En un estudio sobre la aplicación de un tratamiento con agua caliente en cítricos para disminuir la posibilidad de daño, Yehoshua *et al.* (2000) reportó que realizando un empaque a nivel de laboratorio, cuidando los factores contaminantes se puede reducir la posibilidad de que el fruto sufra daños postcosecha, solo implica tener un área destinada exclusivamente para este mecanismo. En contraste existe una demostración de que las células en de los frutos se ven afectados por su manejo postcosecha excesivo donde se da un mal trato por golpes, raspaduras y picaduras que deterioran la calidad e incrementan el riesgo de su descomposición y provocan daños por frío lo que reduce la vida de anaquel del fruto y demerita su valor comercial en postcosecha (Ferguson *et al.*, 2001).

En un estudio sobre la tolerancia del limón a daños por frío, Anaya *et al.* (2000) reportaron la tolerancia del limón persa (*Citrus Latifolia Tanaka*) almacenado a 8 °C, 13 °C y 25 °C y acondicionamiento (13 °C a 48 y 72 horas) logrando una reducción en la incidencia del daño por frío. En contraste Aung *et al.* (2000), concluyeron que existen modificaciones en el contenido de sólidos solubles totales, aunque el limón se almacene a 13 , 10 u 8 °C después de 48 horas

comienza a sufrir cambios internos que demeritan los atributos sensoriales principalmente el sabor.

De acuerdo con More *et al.* (2000), hay evidencia de la tolerancia al frío con dos especies híbridas de cítricos, las cuales se sometieron a un análisis de reconocimiento donde se buscaba la estructura que genéticamente determina la resistencia a los DPF encontrando que el ADN de las células de los frutos contienen el gen que determina dicha tolerancia, por ello solo ciertas variedades lo presentan y cabe la posibilidad de hacer mejoramiento genético.

Para el caso de los desordenes fisiológicos que se presentan durante el almacenamiento se presenta la oxidación de lípidos debido al desgaste de la fruta (Shewfelt *et al.*, 2000). Así como la pérdida de agua por transpiración del fruto donde la calidad externa se ve sumamente afectada. En un estudio realizado sobre el impacto del almacenamiento en limón y naranja en California, E.U.A se encontró que la apariencia esta determinada no por la temperatura del almacen solamente si no por el contenido de humedad en el aire (Smilanick *et al.*, 2003). De acuerdo con esto se puede concluir que para el caso del almacenamiento de limón se debe considerar todos los factores que intervienen en el proceso tales como: temperatura, humedad relativa, tiempo y variedad del fruto.

El acondicionamiento del fruto a temperaturas moderadas, previas al almacenamiento frigorífico, puede aumentar la resistencia al frío. Esto podría estar relacionado, en algunos frutos con el aumento de los ácidos grasos insaturados, de ácido abscísico, escualeno o poliaminas, lo cual se ha utilizado con éxito en pomelos, limas y limones (Aung *et al.*, 1998; Martínez-Jávega *et al.*, 1997).

Durante la conservación frigorífica el control de la humedad relativa constituye un aspecto fundamental para disminuir las pérdidas de agua, debido a que una de las consecuencias del DPF es la deshidratación del fruto, por lo que en la refrigeración del limón es recomendable una humedad relativa entre 85-95% (Guerra, 1996).

Por último la técnica de aplicación de recubrimientos con ceras vegetales ha tenido amplia aplicación Coyotzi *et al.* (2002) evaluó los recubrimientos formulados en base a quitosano, cera de candelilla y de abeja a diferentes concentraciones en la conservación de limón mexicano almacenado a 10 °C y 93% de humedad relativa, el efecto de los recubrimientos fue eficiente al controlar en forma significativa la transpiración y la degradación de la clorofila; sin embargo no fueron tan eficientes en comparación con la cera comercial.

## **2.9. Empaque de limón mexicano**

Alrededor del 80% de la producción de limón mexicano se consume en fresco y depende de las condiciones de su empaque y su calidad para que se pueda exportar. En un análisis del valor agregado que proporciona el empaque al limón, Ramírez *et al.* (2003) presentó evidencia de que si no se diera un lavado, encerado y empaquetado el mercado estaría reducido solo a nacional, lo cual no es rentable para la cadena de producción, de ahí la importancia de proporcionar una buena presentación al producto y que cumpla con las normas de calidad.

Existen normas y parámetros a evaluar dentro del empaque de limón, de los cuales determinen el destino final del producto. En un estudio sobre las limitantes para incursionar en mercados de exportación, se señala las cuestiones de calidad influyen hasta en un 50% de la restricción para lograr la introducción del producto, (Escalante *et al.*, 2003) ya que para obtener un buen precio de venta se requiere contar con un control de calidad que satisfaga las necesidades de un mercado extranjero.

La calidad de limón "Eureka" almacenado a 20 °C y 75% H.R. durante siete días y almacenado a 22 °C Y 95% H.R. con 5 ppm de etileno no presentó cambios significativos en parámetros de calidad como acidez, pH, solidez solubles e índice de madurez. Sin embargo, se produjeron diferencias significativas con el amarillamiento en el flavedo de ambos tipos de frutos (Artes *et al.*, 2000).

## 2.10. Calidad de limón mexicano

En 1999, se publicó la norma de codex para las limas mexicanas, donde se incluyen todas las disposiciones relativas a localidad como: requisitos mínimos de conformidad con las disposiciones especiales y las tolerancias permitidas, también el contenido mínimo del jugo y color del fruto, tomando en cuenta las disposiciones relativas a la presentación tales como: envasado, marcado o etiquetado e higiene. Por lo tanto se tienen registros precisos de los valores o características que debe tomar el limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle) en fresco.

Con fines de comercialización, actualmente la calidad de los frutos de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle) se ajusta a la Norma NMX-FF-087-195-SCFI

**México Extra:** 39 a 47 mm de diámetro ecuatorial, color verde intenso y uniforme.

**México A:** No menos de 30 mm de diámetro ecuatorial, con ligera variación en cuanto al color.

**México B:** No menos de 25 mm de diámetro ecuatorial, y presenta como máximo tres defectos menores y uno mayor en la cáscara. Puede presentar una mayor variación en cuanto a homogeneidad al color y tamaño.

**México C:** Esta categoría comprende al *Citrus aurantifolia* que no reúne los requisitos de la calidad México "B" incluyendo los caídos al suelo y pueden ser destinados a uso industrial.

Esto esclarece el manejo y cuidado que debe tener en el empaque, al momento de suministrar la fruta. Por consiguiente se tienen referencias con máximos y mínimos de los parámetros a evaluar durante el proceso.

De acuerdo con Robles *et al.* (2003) el 40% de la producción de limón es empaque en fresco, lo cual indica la importancia del manejo de las normas para lograr una mayor aceptabilidad en cualquier mercado que se deseé incursionar.

La evaluación sensorial esta teniendo un gran auge para cuestiones de certificación de empresas que desean exportar. Nigel *et al.* (2003), reportaron un estudio de satisfacción del consumidor con frutos de cítricos, considerando los siguientes atributos: color, firmeza, apariencia y olor. Además se realizó una validación estadística para probar si existe diferencia significativa entre variedades; sin embargo la investigación para el caso del limón se enfocó con pruebas al consumidor en preferencias del color, se encontró que la variedad “Barnmerie” no cumplía en su totalidad con las exigencias de los consumidores. Esto indica que para limón es poco significativo entre estas variedades las preferencias del consumidor, únicamente tomando en cuenta el atributo sensorial del color.

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

Estudiar algunos factores relacionados con la cosecha, manejo de la fruta en la línea de empaque, condiciones de almacenamiento y transporte, que inciden de manera directa en la calidad de los frutos de limón mexicano.

#### **3.2. Objetivos Particulares**

1.- Evaluar el efecto del momento de cosecha, método de corte y manejo en campo sobre la calidad de los frutos de limón.

2.- Evaluar los métodos de recepción de materia prima y grado de tecnificación del empaque sobre la calidad y vida postcosecha de fruta.

3.- Evaluar el uso de recubrimientos superficiales bajo condiciones de comercialización y refrigeración, para extender la vida útil y mantener la calidad de los frutos de limón mexicano.

## **IV. HIPOTESIS**

### **4.1. Hipótesis General**

Los factores relacionados con la cosecha, manejo de la fruta en la línea de empaque y de almacenamiento influyen directamente en la calidad de los frutos y la vida de anaquel.

### **4.2. Hipótesis Particulares**

1.- El efecto del grado de madurez, método de corte y hora de cosecha determina la calidad de los frutos de limón mexicano.

2.- El efecto de los métodos de recepción de materia prima y grado de tecnificación del empaque influyen sobre la calidad de fruta.

3.- Las condiciones de almacenamiento para extender la vida útil de la fruta; son la aplicación de ceras y películas plásticas que influyen en aumento de la vida de anaquel.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Localización y características de la zona experimental

El trabajo de investigación se realizó en frutos de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle), producidos en la región de Tecoman, Colima, situada a una latitud de 18° 55' Norte y una longitud de 103° 53' Oeste y a una altitud de 4 m, con un clima BS<sub>1</sub> cálido semiárido. La temperatura media anual es de 26 °C, con una precipitación de 750 mm anuales y una evaporación potencial de 1700-1800 mm anuales. La época de lluvias predomina en el verano donde se presenta más del 90% de la precipitación anual.

### 5.2. Relación de experimentos

Para cumplir con el objetivo general se establecieron tres experimentos:

Experimento 1: Evaluación del efecto del grado de madurez, método de corte y hora de cosecha sobre la calidad postcosecha de los frutos de limón mexicano, con el modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

donde:

$Y_{ij}$ = peso ó color ó SST ó Ac. cítrico; j-ésima observación del i-ésimo tratamiento; i=1 (grado de madurez); 2(método de corte); 3(hora de cosecha).

$\mu$ = media general

$\tau_i$ = efecto del i-ésimo tratamiento.

$e_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$  error experimental.

Experimento 2: Evaluación de los diferentes métodos de recepción y grado de tecnificación del empaque sobre la calidad postcosecha de los frutos de limón mexicano, con el modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

donde:

$Y_{ij}$ = peso ó color ó SST ó Ac. cítrico; j-ésima observación del i-ésimo tratamiento;  
i=1 (metodo de recepción); 2(grado de tecnificación).

$\mu$ = media general

$\tau_i$ = efecto del i-ésimo tratamiento.

$e_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$  error experimental.

Experimento 3: Aplicación de la conservación en condiciones variables y programadas para prolongar la vida de anaquel de los frutos de limón mexicano con el mínimo de daños en su calidad, con el modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

donde:

$Y_{ij}$ = peso ó color ó SST ó Ac. cítrico; j-ésima observación del i-ésimo tratamiento;  
i=1 (cera); 2(película plástica poliolefina); 3(testigo).

$\mu$ = media general

$\tau_i$ = efecto del i-ésimo tratamiento.

$e_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$  error experimental.

### 5.3. Experimento 1

**Evaluación del efecto del grado de madurez, método de corte y hora de cosecha sobre la calidad postcosecha de los frutos de limón mexicano.**

#### 5.3.1. Objetivo

Evaluar el efecto del momento de cosecha, método de corte sobre la calidad, de los frutos de limón mexicano en la huerta de Cofradia de Morelos, Tecoman, Colima.

### 5.3.2. Material Experimental

El estudio se realizó en frutos provenientes de árboles de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle) de cuatro años de edad, injertados sobre Macrofila (*Citrus macrophylla* Wester). Los frutos cosechados se seleccionaron con base al tamaño y apariencia plantados a una distancia de 8 x 4 en un suelo arcilloso somero, con irrigación dos veces por semana, utilizando un sistema de riego por micro aspersión.

### 5.3.3. Recolección y manejo de la fruta en el laboratorio

Para determinar el momento de adecuado de cosecha, se establecieron los siguientes tratamientos Cuadro1.

**Cuadro 1. Tratamientos generados para método de corte en campo para daños mecánicos experimento 1**

<b>Tratamiento (método de cosecha)</b>	<b>En campo (al momento de cosecha)</b>
1	Gancho-Bote-Reja
2	Mano-Manta-Bote-Caja
3	Red-Manta-Caja

**Cuadro 2. Tratamientos generados para hora de cosecha en campo para evaluar la calidad postcosecha experimento 1**

<b>Tratamiento (hora de cosecha)</b>	<b>En campo (al momento de cosecha)</b>
1	9:00 horas
2	13: 00 horas
3	17: 00 horas

**Cuadro 3. Tratamientos generados para grado de madurez para evaluar la calidad postcosecha experimento 1**

<b>Tratamiento (grado de madurez)</b>	<b>En campo (al momento de cosecha)</b>
1	Verdes
2	Amarillos

Se cosecharon 125 frutos para cada tratamiento, que se evaluaron en campo (daños mecánicos) y en laboratorio se trasladaron en un tiempo de 12 horas al laboratorio de postcosecha en las siguientes condiciones de almacenamiento Temperatura  $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR durante 2, 4 y 6 días en el Colegio de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Evaluándose en cada uno de los tratamientos las variables fisiológicas, biofísicas y bioquímicas en laboratorio y el porcentaje de daños mecánicos evaluados al momento de cosecha en campo como se muestra en el cuadro 5.

**Cuadro 4. Variables analizadas en el experimento 1**

<b>Estudio</b>	<b>Índice de Daños</b>	<b>Fisiológicas</b>	<b>Biofísicas</b>	<b>Bioquímicas</b>
Fruto	Oleocelosis Picaduras Raspaduras Acaros Fumagina	Pérdidas de Peso		
Cáscara			Índice de color	
Pulpa				Acidez Titulable (Acido cítrico)  Sólidos Solubles Totales (SST)

#### **5.3.4. Análisis estadístico**

Para el caso de la primera etapa solo se cuantificaron los daños (porcentaje) obtenidos en relación al total de daños de la muestra.

El análisis estadístico se realizó con el programa SAS System V9 (SAS Institute 2002) para el análisis de los resultados se empleo un diseño experimental de bloques al azar con 5 repeticiones y se eligió un diseño factorial para comparar tratamientos.

La unidad experimental para el caso de la evaluación de daños mecánicos fue de 125 frutos de los que se tomaron 10 frutos para cada tratamiento de laboratorio con 5 repeticiones cada uno.

### **5.4. Experimento 2**

**Evaluación de los diferentes métodos de recepción y grado de tecnificación del empaque sobre la calidad postcosecha de los frutos de limón mexicano.**

#### **5.4.1. Objetivo**

Evaluar los métodos de recepción de materia prima y grado de tecnificación del empaque y que influyen sobre la calidad de fruta.

#### **5.4.2. Material Experimental**

El estudio se realizo en los empaques de de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle) de Tecoman, Colima que fueron: Limones Verduzco (recepción de materia prima en cajas de madera y bajo grado tecnificación), Empaque Ibarra (recepción de materia prima con cajas de plástico y medio grado de tecnificación) y LITECO (recepción de materia prima con tolva a granel y alto grado de tecnificación) todos ellos con doce años de experiencia en trabajo de empaque en fresco de limón, con productores asociados en las empresas y con diferentes grados de tecnificación.

#### **5.4.3. Características de los Empaques y grado de tecnificación**

Cabe mencionar que los empaques seleccionados aceptaron participar, facilitando el acceso a las instalaciones y a tomar las respectivas muestras. También la facilidad de otorgar la información para darle seguimiento a las muestras. De acuerdo a la clasificación realizada por las diferentes etapas del proceso de empaque, maquinaria e infraestructura se clasificó a los tres empaques de baja, media y alta tecnificación.

#### **5.4.4. Recolección y manejo de la fruta en el laboratorio**

Para el caso de tipo de recepción, las muestras se tomaron de fruta recién llegada del campo y manejada de acuerdo al tipo de empaque: Verduzco (Cajas de madera), Ibarra (Cajas de plástico) y LITECO (Tolva). En total se tomaron 150 frutos de tamaño 3 y 4 (30-35 gramos) por cada tipo de recepción, e inmediatamente se realizó la evaluación del índice de daños. Posteriormente, en un lapso de 12 horas se llevaron a laboratorio de Fruticultura del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, Estado de México, en donde se almacenaron a  $22 \pm 2^\circ \text{C}$ ;  $55 \pm 5\%$  de HR por 5, 10 y 15 días, cuantificando en cada periodo las variables: pérdidas de peso, pérdida de color, acidez titulable, % de SST e índice de daños. Por cada periodo de almacenamiento se tomaron 50 frutos para establecer 5 repeticiones de 10 frutos cada una.

Para evaluar el efecto del grado de tecnificación del empaque, se tomaron muestras de 150 frutos con tamaño 3 y 4 (30-35 gramos), después de haber realizado todo el proceso de empaque y listos para su comercialización; dicho tamaño de muestra fue de acuerdo al tipo de empaque: Verduzco (baja tecnificación), Ibarra (media tecnificación) y LITECO (alta tecnificación) (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Tratamientos generados en empaque para daños mecánicos experimento 2 (recepción de materia prima y grado de tecnificación).**

Tratamiento (forma de recepción)	En Empaque (al momento de la recepción)	En Empaque (al momento de la salida para el embarque)	En Laboratorio (24 horas después de la salida para el embarque)
1	Verduzco, cajas de madera	Verduzco, baja tecnificación	Verduzco, baja tecnificación
2	Ibarra, cajas de plástico	Ibarra, media tecnificación	Ibarra, media tecnificación
3	LITECO, Tolva a granel	LITECO, alta tecnificación	LITECO, alta tecnificación

Las muestras de cada grado de tecnificación se transportaron al Laboratorio de Fruticultura antes señalado en un lapso de 12 horas, donde se almacenaron a  $22 \pm 2^\circ \text{C}$ ;  $55 \pm 5 \%$  de HR por 5, 10 y 15 días. Después de cada periodo de tiempo se tomó una muestra de 50 frutos para establecer 5 repeticiones con 10 frutos cada una y con esto realizar análisis de las siguientes variables (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Variables analizadas en el experimento 1**

<i>Estudio</i>	<i>Índice de Daños</i>	<i>Fisiológicas</i>	<i>Biofísicas</i>	<i>Bioquímicas</i>
Fruto	Oleocelosis Picaduras Raspaduras Acaros Fumagina	Pérdidas de Peso		
Cáscara			Índice de color	
Pulpa				Acidez Titulable (Acido cítrico)  Sólidos Solubles Totales (SST)

#### **5.4.5. Análisis estadístico**

Para el caso del empaque solo se cuantificaron los porcentajes de daños obtenidos en relación al total de daños de la muestra.

El análisis estadístico se realizó con el programa SAS System V9 (SAS Institute 2002) para el análisis de los resultados se empleo un diseño experimental factorial para comparar tratamientos.

La unidad experimental para el caso de la evaluación de daños mecánicos fue de 300 y El diseño experimental consistió de 3 tratamientos con 5 repeticiones cada uno y una unidad experimental de 10 limones por tratamiento.

### **5.5. Experimento 3**

**Aplicación de la conservación en condiciones variables y programadas para prolongar la vida de anaquel de los frutos de limón mexicano con el mínimo de daños en su calidad.**

#### **5.5.1. Objetivo**

Evaluar diferentes condiciones de almacenamiento para extender la vida útil de la fruta; evaluando los principales factores que influyen sobre la calidad.

#### **5.5.2. Material Experimental**

El estudio se realizo en los empaques de de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle) de Tecoman, Colima, en la huerta de Tecuanillo.

### 5.5.3. Recolección y manejo de la fruta en el laboratorio

Se emplearon 100 limones mexicanos del número 3 ó 4 de la huerta en Tecuanillo, Tecoman, cabe mencionar que la fruta se comercializa en la Central de Abastos de la Ciudad de México. Las características de los limones seleccionados para el estudio fueron: peso aproximado de 30-35 g, tamaño uniforme, de color verde oscuro y libre de daños mecánicos, pudriciones, malformaciones o fisiopatías.

Para el caso de la evaluación en laboratorio se trasladaron en un tiempo de 12 horas al laboratorio de postcosecha del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Se realizó una evaluación con 20 frutos para cada tratamiento cubriendo un periodo total de almacenamiento de 20 días bajo las condiciones abajo descritas en el Cuadro 7.

**Cuadro 7. Tratamientos generados en laboratorio para experimento 3 (vida útil de la fruta y daño por frío).**

#### **Primera etapa a temperatura ambiente**

<b>Tratamiento</b>	<b>Condiciones Variables</b>	<b>Temperatura de almacenamiento</b>	<b>Almacenamiento</b>
1	Cera	20 ± 2 °C	2 semanas
2	Película plástica (poliolefina)	20 ± 2 °C	2 semanas
3	Testigo	20 ± 2 °C	2 semanas

#### **Segunda etapa en refrigeración**

1	Cera	8 °C	8 semanas
2	Película plástica (poliolefina)	8 °C	8 semanas
3	Testigo	8 °C	8 semanas

Por lo tanto las lecturas fueron a temperatura ambiente  $20 \pm 2$  °C en 0 y 2 semanas de almacenamiento y a temperatura de refrigeración 8 °C, realizando las evaluaciones a las 0 y 8 semanas de almacenamiento, con 20 frutos de las variables fisiológicas, biofísicas y bioquímicas expuestas en el Cuadro 8;

**Cuadro 8. Variables analizadas en el experimento 3**

<i><b>Estudio</b></i>	<i><b>Fisiológicas</b></i>	<i><b>Biofísicas</b></i>	<i><b>Bioquímicas</b></i>
Fruto	Pérdidas de Peso		
Cáscara		Índice de cambio de color	
Pulpa			Acidez Titulable (Acido cítrico)  Sólidos Solubles Totales (SST) Índice de Madurez

#### **5.5.4. Análisis estadístico**

El análisis estadístico se realizó con el programa SAS System V9 (SAS Institute 2002) para el análisis de los resultados se empleo un diseño experimental factorial para comparar tratamientos y uno completamente al azar para comparar tratamientos y testigo. En el factorial se ensayaron la temperatura y la humedad relativa para comparar los tratamientos entre las 5 fechas evaluadas y finalmente el completamente el azar para comparar tratamientos y testigo dentro de cada una de las fechas consideradas.

El diseño experimental consiste de 6 tratamientos con 3 repeticiones cada uno y una unidad experimental de 15 limones por tratamiento.

## 5.6. Metodologías de Evaluación

### 5.6.1. Índice de daños

Se determinó visualmente identificando por fruto la presencia de daños por oleocelosis, picaduras, raspaduras, ácaros y fumagina, y cuantificando el número de frutos por repetición con cualquiera (o todos) de estos daños; para finalmente calcular el porcentaje de incidencia de cada daño, respecto al total de los mismos. Esta determinación se realizó en frutos recién cosechados y manejados de acuerdo al experimento 1; en frutos cosechados y manejados con diferente método de recepción y al final de cada grado de tecnificación (experimento 2).

### 5.6.2. Pérdidas fisiológicas de peso

Se calcularon en base a las diferencias de peso entre el inicial y el obtenido dentro de cada periodo de análisis establecido. Para esto se utilizó una balanza digital marca Asep modelo EY-2200 A, con una aproximación de 0.01g y los datos se reportaron como (% PFP), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$PP (\%) = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100$$

Donde:

**PP** = porcentaje de pérdida de peso

**P<sub>i</sub>** = peso inicial del fruto (al día siguiente del muestreo)

**P<sub>f</sub>** = peso del fruto al final del período de almacenamiento, considerando las fechas finales.

### 5.6.3. Índice de Color

Se evaluó con un colorímetro de reflexión Hunter Lab Modelo D 25 PC 2 y con los valores obtenidos se aplicó el índice de color para cítricos IC = (1000 a) / (Lb) propuesto por Jiménez-Cuesta *et al.* (1981) que muestra alta correlación entre la apreciación visual y la instrumental en el intervalo de colores comprendido entre el

verde oscuro (valores más negativos) y el naranja intenso (valores más positivos). Para evaluar la velocidad de pérdida de color.

#### **5.6.4. Sólidos Solubles Totales (SST)**

Se utilizó un refractómetro digital con sensor óptico y corrección de temperatura, sobre el cual se colocó una muestra de jugo de limón previamente extraído según la metodología de la AOAC (1990). Los datos se reportan como °Bx.

#### **5.6.5. Acidez Titulable**

Se obtuvo de acuerdo al método AOAC (1990), para lo cual se tomó una alícuota de 2 mL de jugo a la que se le adicionaron dos gotas de fenoftaleína al 1%. La neutralización se realizó con NaOH 0.1N hasta el vire de color. Los datos se reportan como % de ácido cítrico, que es el ácido de mayor presencia en cítricos (Sinclair, 1984). El cálculo del % de ácido cítrico se realizó con base en la siguiente fórmula:

$$\text{Ácido Cítrico (\%)} = \frac{(\text{mL NaOH}) (\text{N NaOH}) (\text{Meq Ac}) (100)}{\text{Alícuota (mL)}}$$

mL NaOH = Gasto en la titulación

N NaOH = Normalidad del hidróxido de sodio 0.1

Meq ácido cítrico = 0.064

## VI. RESULTADOS

### Experimento 1

**Evaluación del efecto del grado de madurez, método de corte y hora de cosecha sobre la calidad postcosecha de los frutos de limón mexicano.**

Para la primera etapa del experimento se evaluaron en laboratorio y los daños mecánicos en el Cuadro 9, se presentan los resultados del análisis de varianza factorial aplicado a las variables para evaluar el efecto de los tratamientos simples y de las interacciones.

**Cuadro 9. Resultados de los análisis de varianza del experimento factorial método de corte (MDC)\* hora de cosecha (Hora)\* grado de madurez (GDM) en condiciones de almacenamiento de limón.**

Factor	Pérdidas de peso (%)			Índice de Color IC= 1000a/Lb			Sólidos Solubles Totales (%)			Acidez Titulable (%)			Daños en el fruto				
	2	4	6	2	4	6	2	4	6	2	4	6	Ole.	Pic.	Rasp	Acaros	Fuma
<b>Método de Corte(MDC)</b>	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	*	*	NS	NS	*	*	*	NS	**
<b>Hora de Cosecha(Hora)</b>	*	*	**	*	NS	NS	NS	NS	*	NS	*	NS	*	*	NS	NS	*
<b>Grado de Madurez (GDM)</b>	NS	**	*	*	*	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	*	NS	NS	*
<b>MDC * Hora</b>	*	*	**	NS	*	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	*	NS	NS	NS
<b>MDC * GDM</b>	**	**	**	**	*	NS	NS	NS	*	**	*	NS	*	*	NS	NS	NS
<b>Hora * GDM</b>	**	**	**	**	*	NS	NS	NS	*	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>MDC * Hora * GDM</b>	**	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS=No significativo; \* =Significativo al 90% de probabilidad; \*\*=Significativo al 99% de probabilidad

\*Ole: Oleocelosis, Pic: Picaduras, Rasp: Raspaduras, Fuma. Fumagina

## 6.1. Método de Corte

### 6.1.1. Pérdida de Peso

En este caso no presenta diferencia estadística significativa en 2, 4 y 6 días de almacenamiento, no existe pérdidas de peso, estadísticamente significativas con respecto al método de corte Cuadro 10 y Figura 1.

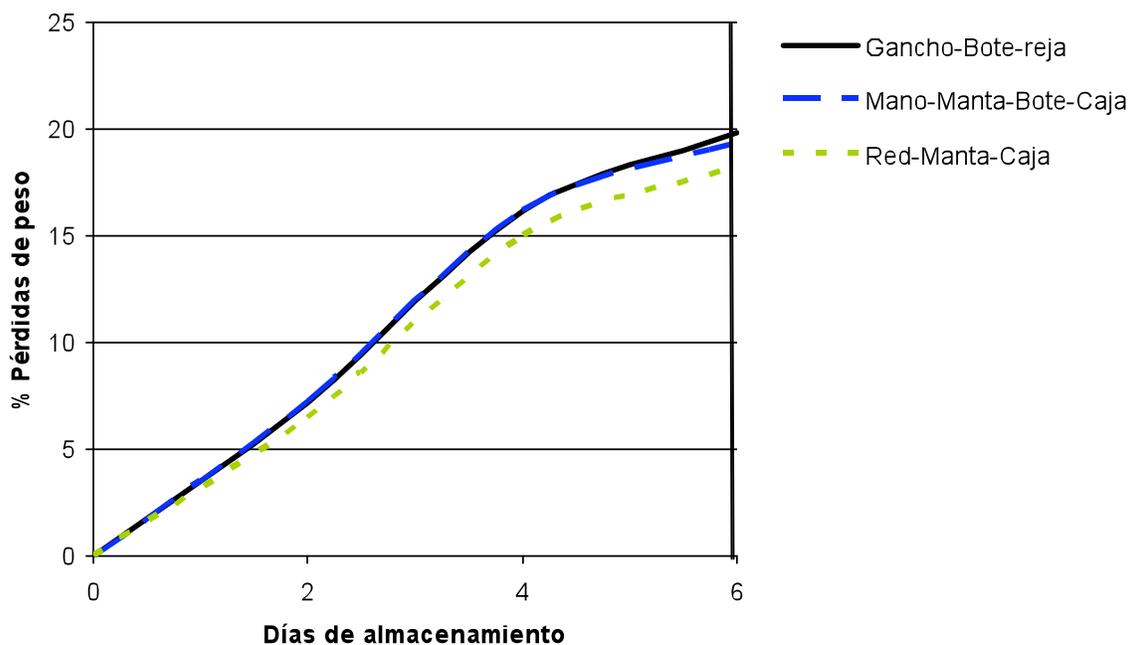
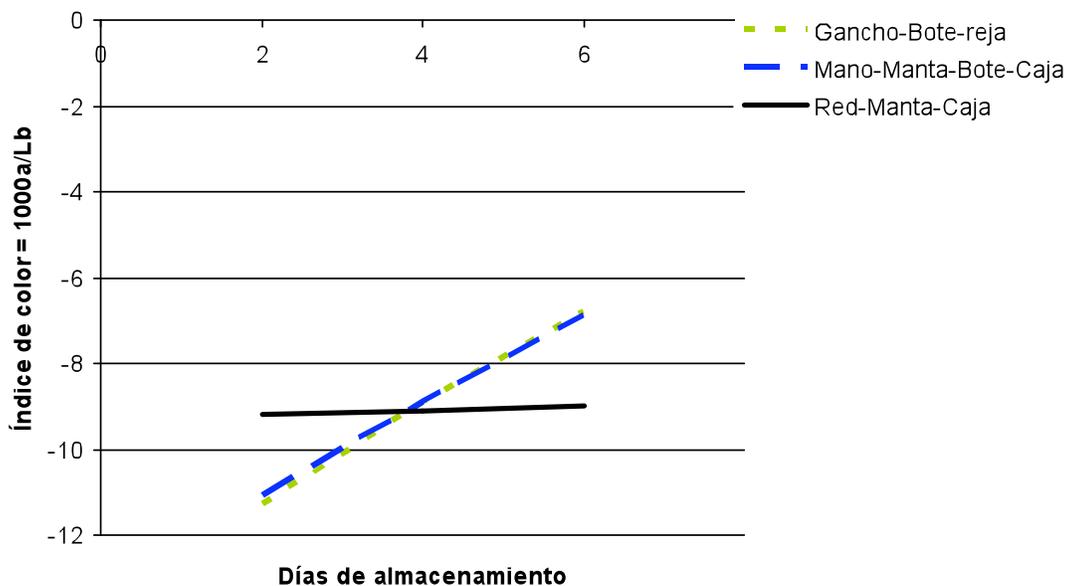


Figura 1. Efecto del método de cosecha sobre las pérdidas de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR).

### 6.1.2. Índice de Color

Con respecto a la pérdida de color presenta diferencia estadística significativa en 6 días de almacenamiento, es decir siendo con tonalidad mas verde (-9.0), se presento con red-manta-caja como método de corte y los de color menos verde (-6.8), para corte con gancho-bota-reja; sin embargo con 2 y 4 días de almacenamiento no presentan diferencia estadística significativa solo la pérdida de

color con respecto al aumento de los días de almacenamiento Cuadro 10 y Figura 2.



**Figura 2. Efecto del método de cosecha sobre el índice de color (1000 a/Lb) de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR).**

### 6.1.3. Sólidos Solubles Totales

Solo a los 6 días de almacenamiento la diferencia estadística significativa en el método de corte, donde el mayor contenido de SST se presentó con gancho-bote-caja (9.8%) y menor con mano y red, sin embargo con 2 y 4 días de almacenamiento no presentan diferencia estadística significativa Cuadro 10. De igual forma en limón 'Lisbom' precortado se observó que a pesar de las condiciones de almacenamiento las variables SST y acidez titulable no se ven afectadas (Artés-Hernández, 2007).

### 6.1.4. Acidez Titulable

En el análisis estadístico solo marcó diferencia significativa con 2 días de almacenamiento presentando el valor 9.76%, con el método de corte con gancho-bote-reja y el corte con red-manta-caja el menor con 8.23% Cuadro 10. Sin

embargo con 4 y 6 días de almacenamiento no presentan diferencia estadística significativa.

### 6.1.5. Porcentaje de Índice de daños

En el análisis estadístico no presento diferencia significativa con ácaros, de ahí en todos los otros daños presento diferencia estadística siendo los más bajos de cada daño los siguientes: oleocelosis fue con red, en picaduras a mano, raspaduras con red y fumagina con red Cuadro 10 y Figura 3.

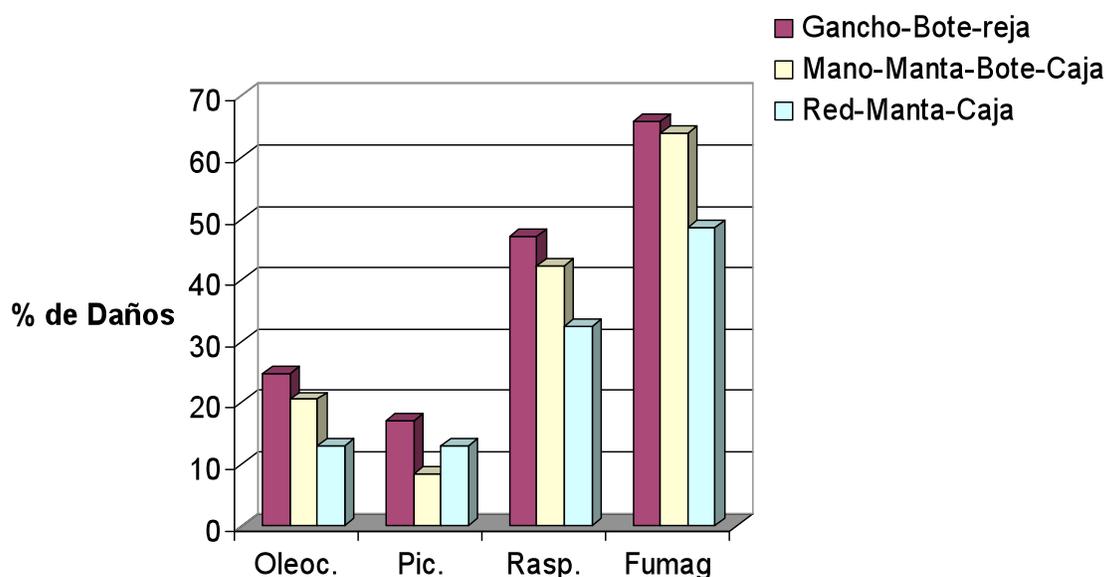


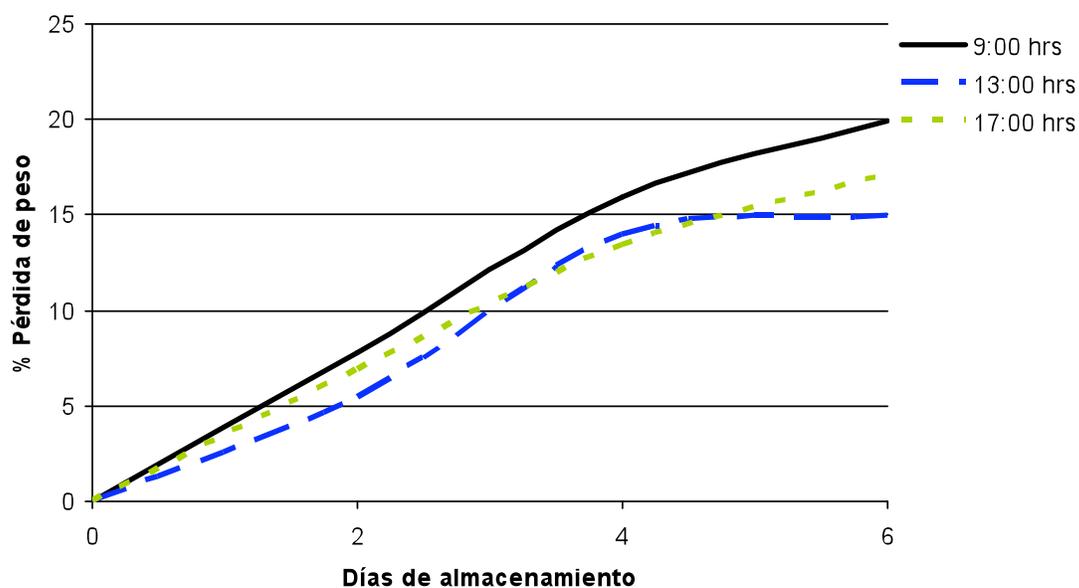
Figura 3. Efecto del método de cosecha sobre el índice de daños de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR).

## 6.2. Hora de Cosecha

### 6.2.1. Perdida de Peso

En este caso presenta diferencia estadística significativa en 2, 4 y 6 días de almacenamiento, para el caso de 2 días los frutos perdieron en promedio un 6.70% y la hora de cosecha que obtuvo menos pérdida de peso fue a las 13:00

horas, para el caso de 4 días los frutos perdieron en promedio un 14.46% y la hora de cosecha que obtuvo menos pérdida de peso fue a las 17:00 horas y por último de 6 días los frutos perdieron en promedio un 17.35% y la hora de cosecha que obtuvo menos pérdida de peso fue a las 13:00 horas Cuadro 10 y Figura 4.



**Figura 4. Efecto de la hora de cosecha sobre las pérdidas de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR).**

### 6.2.2. Índice de Color

Con respecto a la pérdida de color presenta diferencia estadística significativa en 2 días de almacenamiento, es decir siendo con tonalidad mas verde (-12.4), a las 9:00 horas y los de color menos verde (-9.1), a las 13:00 horas; sin embargo con 4 y 6 días de almacenamiento no presentan diferencia estadística significativa solo la pérdida de color con respecto al aumento de los días de almacenamiento Cuadro 10.

### 6.2.3. Sólidos Solubles Totales

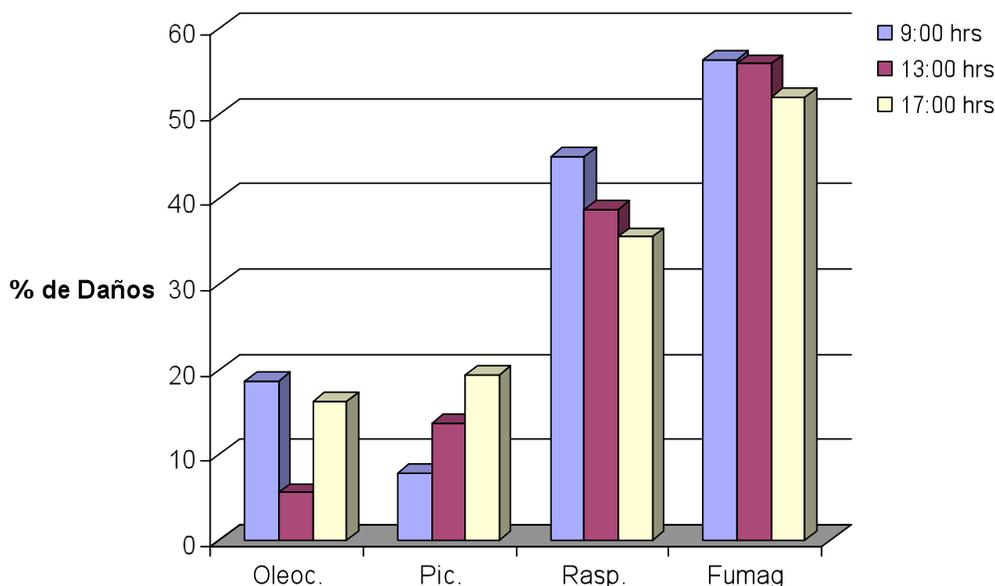
Solo a los 6 días de almacenamiento la diferencia estadística significativa en la hora de cosecha a las 9:00 horas, donde el mayo contenido de SST se presento (9.3%) y menor a las 13:00 y 17:00 horas, sin embargo con 2 y 4 días de almacenamiento no presentan diferencia estadística significativa Cuadro 10.

### 6.2.4. Acidez Titulable

En el análisis estadístico solo marcó diferencia significativa con 4 días de almacenamiento presentando el valor 9.76%, a las 17:00 horas y 7.15 a las 9:00 horas Cuadro 10. Sin embargo con 4 y 6 días de almacenamiento no presentan diferencia estadística significativa.

### 6.2.5. Porcentaje de Índice de daños

En el análisis estadístico no presento diferencia significativa con raspaduras, ácaros y Fumagina, de ahí en todos los otros daños presento diferencia estadística siendo los más bajos de cada daño los siguientes: oleocelosis a las 13:00 horas, en picaduras a las 9:00 horas Cuadro 13 y Figura 5.



**Figura 5. Efecto de la hora de cosecha sobre el Índice de daños de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5$  % HR).**

**Cuadro 10. Efecto del grado de madurez, método y hora de cosecha sobre las pérdidas de peso, color de frutos, SST y Acidez Titulable de frutos de limón mexicano almacenados a Temperatura  $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR.**

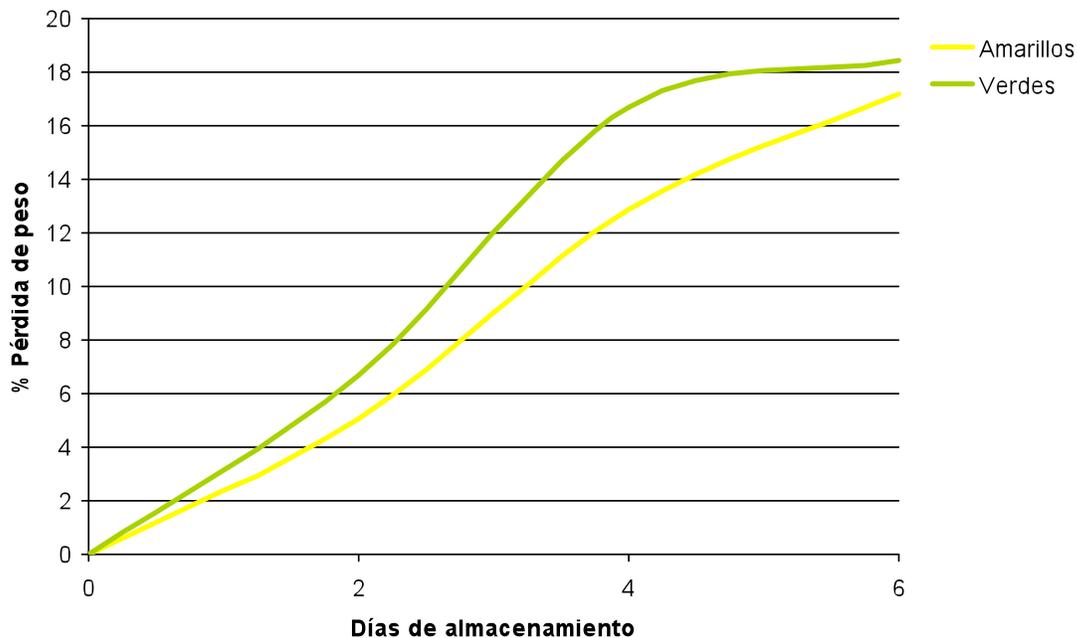
FACTOR	Pérdidas de peso (%)			Índice de Color IC=(1000a) / (Lb)			SST (%)			Acidez (% Ac. cítrico)		
	2	4	6	2	4	6	2	4	6	2	4	6
<b>Método de corte</b>												
Gancho-Bote-reja	7.17a	16.17a	19.83a	-11.3a	-8.9a	-6.8b	7.5a	8.1a	9.8a	9.76a	8.64a	7.15a
Mano-Manta-Bote-Caja	7.25a	16.20a	19.34a	-11.1a	-8.9a	-6.9b	7.5a	8.0a	8.7b	9.12a	8.12a	7.03a
Red-Manta-Caja	6.49a	15.00a	18.14a	-9.2b	-9.1a	-9.0a	7.4a	7.9a	8.1b	8.23b	8.00a	6.74a
<b>Hora de cosecha de fruta en campo</b>												
9:00 hrs	7.78a	15.97a	19.94a	-12.4a	-8.8a	-6.9a	7.0a	7.3a	9.3a	9.23a	7.02a	6.40a
13:00 hrs	5.45b	13.99b	14.95c	-9.1b	-8.1a	-6.8a	6.7a	7.1a	8.0b	9.40a	7.10a	6.60a
17:00 hrs	6.89a	13.43b	17.15b	-11.5a	-8.8a	-7.1a	6.7a	7.1a	7.9b	9.87a	9.76b	6.90a
<b>Grado de Madurez</b>												
Amarillos	5.09a	12.87b	17.19b	-10.6b	-8.8b	-7.9a	6.3a	7.1a	7.4b	8.57a	8.24a	7.83a
Verdes	6.67a	16.68a	18.46a	-12.3a	-10.0a	-8.8a	7.7a	8.5a	9.0a	8.70a	7.53a	7.15a

Las medias seguidas por una letra diferente son significativamente diferentes dentro de las columnas, por la prueba de comparación de medias de Tukey,  $P \leq 0.05$ .

### 6.3. Grado de Madurez

#### 6.3.1. Pérdida de Peso

En este caso no presenta diferencia estadística significativa en 2 días de almacenamiento, para el caso de 4 días los frutos perdieron en promedio un 14.77% y el grado de madurez “Amarillos” fue el que obtuvo menos pérdida de peso y para 6 días de almacenamiento los frutos en promedio un 17.82% y el grado de “Amarillos” que obtuvo la menor pérdida de peso Cuadro 10 y Figura 6.



**Figura 6. Efecto del grado de madurez sobre las pérdidas de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR).**

### 6.3.2. Índice de Color

Los datos presentan diferencia estadística significativa a los 2 días de almacenamiento, es decir por el grado de madurez siendo con tonalidad mas verde (-12.3) y los amarillos (-10.6); también para 4 días de almacenamiento presentan diferencia estadística significativa es decir por el grado de madurez siendo con tonalidad mas verde (-10.0) y los amarillos (-8.8) solo la perdida de color con respecto al aumento de los días de almacenamiento Cuadro 10.

### 6.3.3. Sólidos Solubles Totales

Solo a los 6 días de almacenamiento la diferencia estadística significativa en el grado de madurez se manifiesta, donde el mayo contenido de SST se presento (9.0%) con los frutos “Verdes” y con los frutos “Amarillos”, sin embargo con 2 y 4 días de almacenamiento no presentan diferencia estadística significativa Cuadro 10.

### 6.3.4. Acidez Titulable

En el análisis estadístico no presento diferencia significativa del grado de madurez con respecto a esta variable (Cuadro10).

### 6.3.5. Porcentaje de Índice de daños

En el análisis estadístico no presento diferencia significativa con raspaduras y Acaros de ahí en todos los otros daños presento diferencia estadística siendo los más bajos de cada daño los siguientes: oleocelosis frutos verdes, en picaduras también los frutos verdes y en el caso de Fumagina presento menor daño los frutos verdes Cuadro 11 y Figura 7.

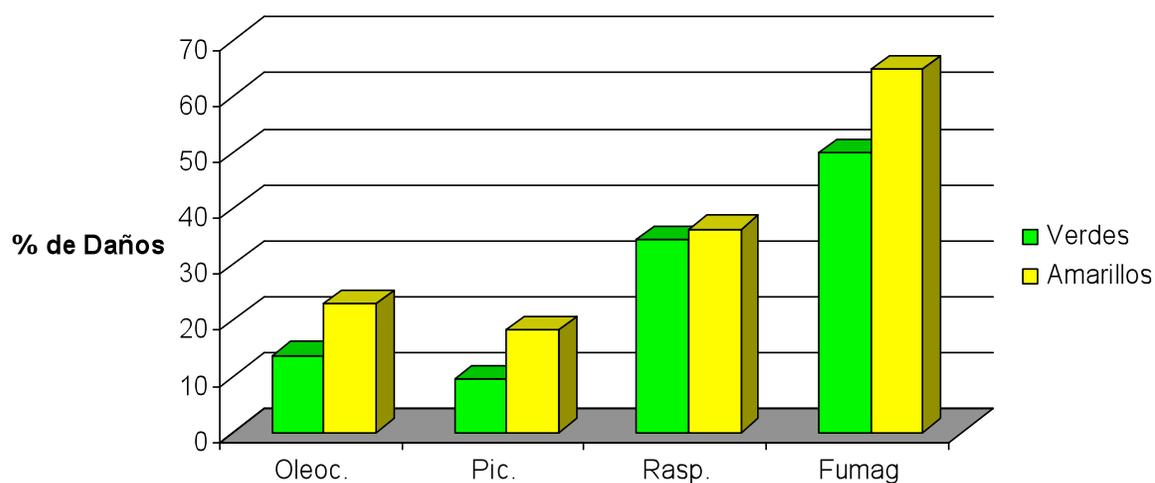


Figura 7. Efecto del grado de madurez sobre el Índice de daños de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5$  % HR).

**Cuadro 11. Efecto del método y momento de cosecha sobre la incidencia de daños en frutos de limón mexicano (valores al momento de cosecha)**

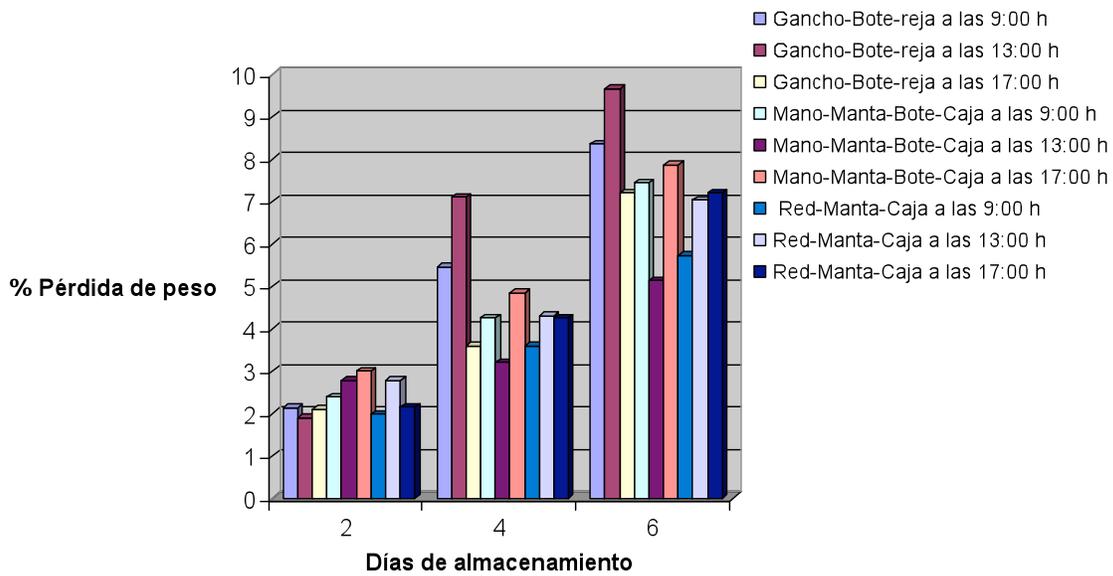
FACTOR	Daños en el fruto				
	Oleoc.	Pic.	Rasp.	Acaros	Fumag
<b>Método de corte</b>					
Gancho-Bote-Reja	24.7a	17.2a	47.2a	11.8a	65.9a
Mano-Manta-Bote-Caja	20.6a	8.4b	42.4a	11.6a	63.9a
Red-Manta-Caja	13.1b	13.1a	32.5b	10.4a	48.5b
<b>Hora de cosecha de fruta en campo</b>					
9:00 hrs	18.7a	7.9c	45.0a	9.4a	56.3b
13:00 hrs	5.6b	13.7b	38.8a	10.6a	55.9b
17:00 hrs	16.3ab	19.4a	35.6a	9.5a	51.9b
<b>Grado de Madurez</b>					
Amarillos	13.8a	9.5b	34.4a	9.8a	49.9b
Verdes	22.9b	18.4a	36.3a	10.6a	64.8a

Las medias seguidas por una letra diferente son significativamente diferentes dentro de las columnas, por la prueba de comparación de medias de Tukey,  $P \leq 0.05$ .

#### 6.4. Efecto del método de corte y hora de cosecha (MDC\*Hora)

##### 6.4.1. Pérdida de Peso

Para el caso de las pérdidas de peso presenta diferencia significativa a los 2 días siendo gancho-bote-reja a las 13:00 horas con la menor pérdida de peso, a los 4 siendo mano-manta-bote-caja a las 13:00 horas y 6 días de almacenamiento donde el método de corte y hora de cosecha que fue mano-manta-bote-caja a las 13:00 horas con las menores pérdidas de peso en los diferentes días de almacenamiento Figura 8.



**Figura 8. Pérdida de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR) considerando la interacción Método de corte y Hora de cosecha (MDC\*Hora)**

#### 6.4.2. Índice de Color

Para la pérdida de color la interacción de método de corte y hora de cosecha presenta la diferencia significativa a los 4 y 6 días de almacenamiento siendo con red-manta-caja a las 13:00 horas donde presenta la menor pérdida de color durante el almacenamiento.

#### 6.4.3. Sólidos Solubles Totales

Los sólidos solubles totales con la interacción no presentan diferencia significativa si no hasta los 6 días de almacenamiento donde el valor mas alto 9.8% es mano-manta-bote-caja a las 13:00 horas y el menor es 6.8% red-manta-caja a las 17:00 horas.

#### 6.4.4. Acidez Titulable

En el análisis estadístico la interacción del método de corte con la hora de cosecha no presenta diferencia significativa en los 2, 4 y 6 días de almacenamiento del limón mexicano.

#### 6.4.5. Porcentaje de Índice de daños

El análisis estadístico la interacción presenta diferencias con respecto a la oleocelosis siendo red-manta-caja a las 9:00 horas que presenta el menor porcentaje de daños y también para picaduras con diferencia significativa.

### 6.5. Efecto del método de corte y grado de madurez (MDC\*GDM)

#### 6.5.1. Pérdida de Peso

Para el caso de las pérdidas de peso presenta diferencia significativa a los 2 días siendo red-manta-caja en frutos amarillo con la menor pérdida de peso, a los 4 días siendo mano-manta-bote-caja en frutos amarillos y 4 días de almacenamiento donde el método de corte y grado de madurez que fue mano-manta-bote-caja en frutos amarillos con las menores pérdidas de peso en los diferentes días de almacenamiento Figura 9.

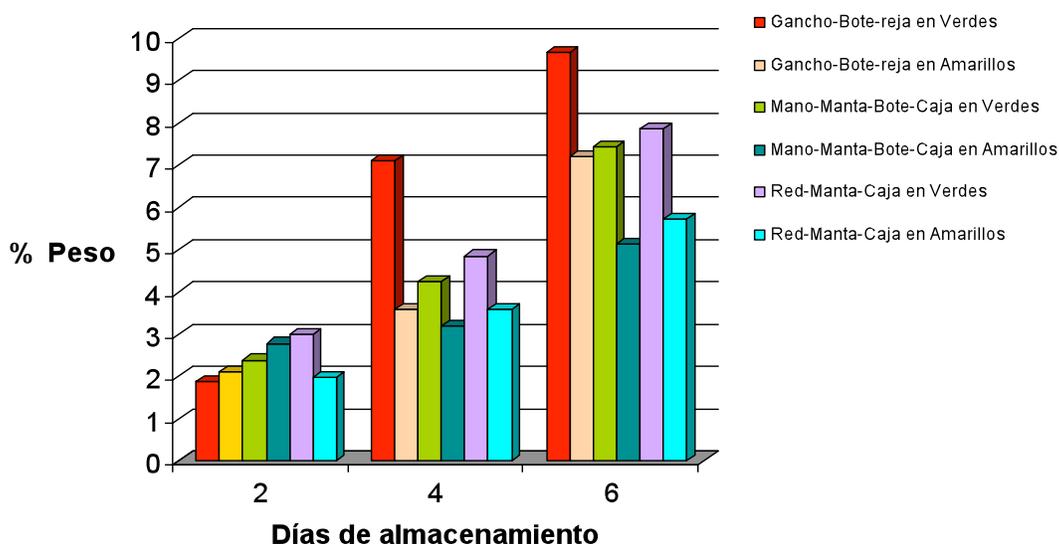


Figura 9. Pérdida de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR) considerando la interacción Método de corte y Grado de Madurez (MDC\*GDM)

### 6.5.2. Índice de Color

Para la pérdida de color la interacción de método de corte y grado de madurez presenta la diferencia significativa a los 2 y 4 días de almacenamiento siendo con red-manta-caja a las de frutos amarillos donde presenta la menor pérdida de color durante el almacenamiento (Figura 10).

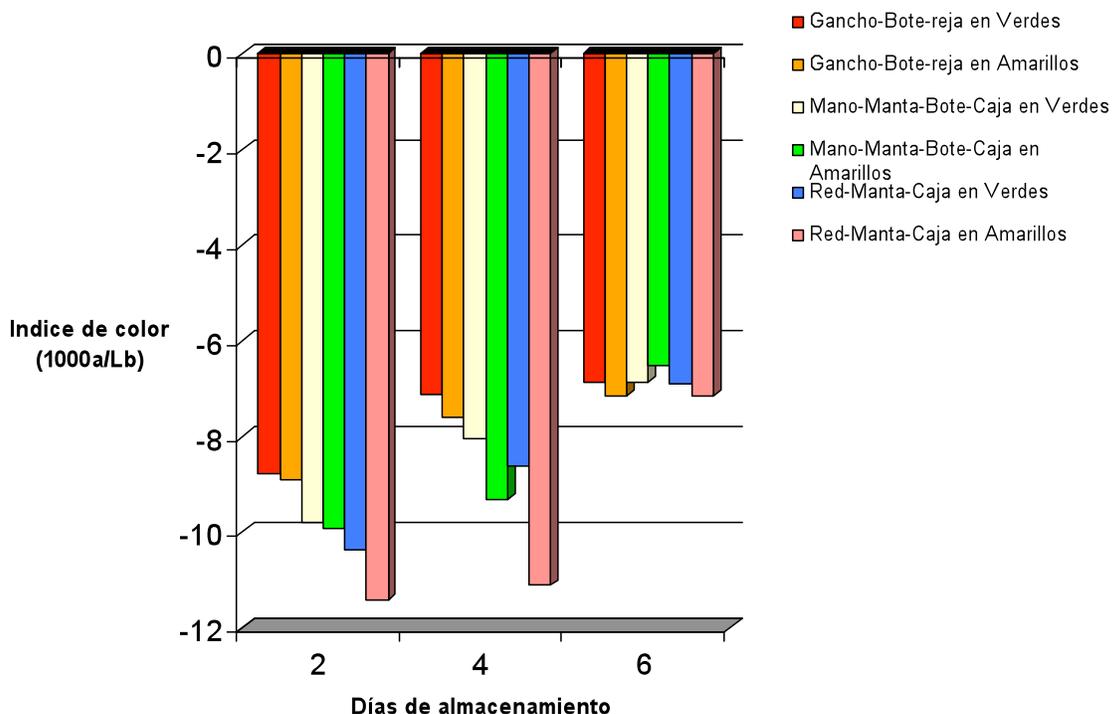


Figura 10. Índice de color de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR) considerando la interacción Método de corte y Grado de Madurez (MDC\*GDM)

### 6.5.3. Sólidos Solubles Totales

Los sólidos solubles totales con la interacción no presentan diferencia significativa si no hasta los 6 días de almacenamiento donde el valor mas alto 9.3% es mano-manta-bote-caja con frutos amarillos y el menor es 6.3% red-manta-caja con frutos verdes.

#### 6.5.4. Acidez Titulable

En el análisis estadístico la interacción del método de corte con el grado de madurez presenta diferencia significativa en los 2 y 4 días de almacenamiento siendo la mayor cantidad de mano-manta-bote-caja con frutos verdes y el menor valor con red-manta-caja de frutos amarillos de limón mexicano.

#### 6.5.5. Porcentaje de Índice de daños

El análisis estadístico la interacción presenta diferencias con respecto a la oleocelosis siendo red-manta-caja con frutos verdes que presenta el menor porcentaje de daños y también para picaduras con diferencia significativa.

### 6.6. Efecto de la hora de corte y grado de madurez (Hora\* GDM)

#### 6.6.1. Pérdida de Peso

Para el caso de las pérdidas de peso presenta diferencia significativa a los 2 siendo cosechados a las 13:00 horas verdes con la menor pérdida de peso, a los 4 siendo a las 13:00 horas amarillos con la menor pérdida de peso y 6 días de almacenamiento donde la hora de cosecha y grado de madurez que fue a las 13:00 horas amarillos Figura 11.

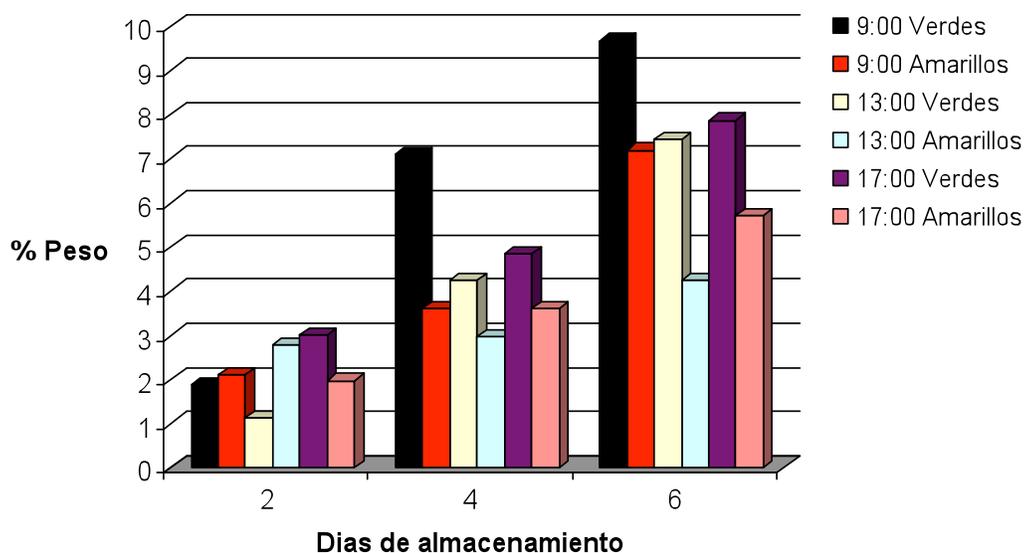


Figura 11. Pérdida de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR) considerando la interacción Hora de cosecha y Grado de Madurez (Hora\*GDM)

### 6.6.2. Índice de Color

Para la pérdida de color la interacción de hora de cosecha y grado de madurez presenta la diferencia significativa a los 2 y 4 días de almacenamiento siendo con a las 9:00 horas verdes donde presenta la menor pérdida de color durante el almacenamiento Figura 12.

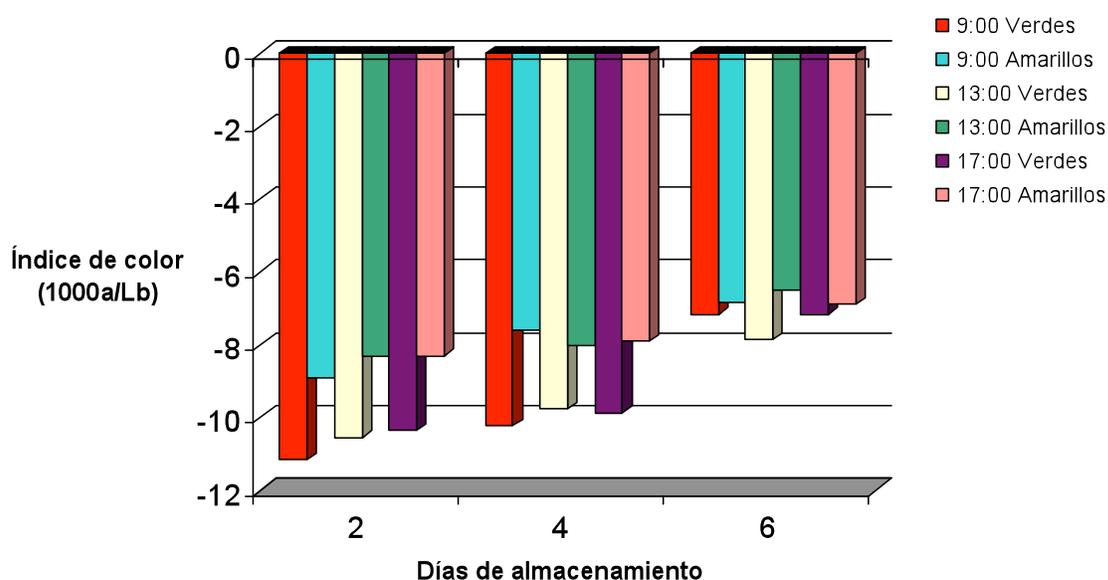


Figura 12. Índice de color de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR) considerando la interacción Hora de cosecha y Grado de Madurez (Hora\*GDM)

### 6.6.3. Sólidos Solubles Totales

Los sólidos solubles totales con la interacción no presentan diferencia significativa si no hasta los 6 días de almacenamiento donde el valor mas alto 9.8% es a las 13:00 horas con frutos amarillos y el menor es 6.1% a las 17:00 horas con frutos verdes.

### 6.6.4. Acidez Titulable

En el análisis estadístico la interacción del método de corte con el grado de madurez presenta diferencia significativa en los 2 días de almacenamiento siendo la mayor cantidad a las 13:00 horas con frutos verdes y el menor valor con 13:00

de frutos amarillos de limón mexicano y para los días 4 y 6 no presenta diferencias significativa.

#### **6.6.5. Porcentaje de Índice de daños**

El análisis estadístico de la interacción no presenta diferencias con respecto a la oleocelosis, picaduras, raspaduras, ácaros y fumagina, por lo tanto no hay diferencia significativa con respecto a la hora de cosecha y grado de madurez de los frutos de limón mexicano.

### **Experimento 2**

#### **Evaluación de los diferentes métodos de recepción y grado de tecnificación del empaque sobre la calidad postcosecha de los frutos de limón mexicano.**

Se ha reportado que para el caso de la naranja 'navel' las condiciones de humedad alta y baja temperatura en almacenamiento y transporte (Henriod, 2006) favorecen la conservación de la calidad y esto se refiere a los métodos de empaque, lo cual quiere decir que ha mayor tecnificación y controlando estas dos variables el deterioro de la fruta es menor.

Para este experimento se recolectaron los frutos de los tres diferentes empaques de acuerdo a sus diferentes métodos de recepción (tolva, cajas de plástico y cajas de madera) ahí se evaluaron los daños de la fruta y se tomaron lecturas de peso e índice de color a los 5, 10 y 15 días después. De igual forma la cuantificación del grado de tecnificación como lo muestra el siguiente Cuadro 12.

**Cuadro 12. Resultados de los análisis de varianza del experimento factorial  
método de recepción\* grado de tecnificación en condiciones de  
almacenamiento de limón.**

Factor	Perdidas de peso (%)			Pérdida de Color			SST (%)			Acidez (% Ac. cítrico)			Porcentaje en relación al total de daños en el fruto				
	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	Ole.	Pic.	Ras.	Aca ros	Fum.
<b>Método de Recepción (MDR)</b>	NS	*	**	NS	**	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	*	*	NS	*
<b>Grado de Tecnificación (GTEC)</b>	*	**	**	**	*	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	**	**	**	NS	**
<b>MDR * GTEC</b>	*	*	**	*	*	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	*	*	NS	*

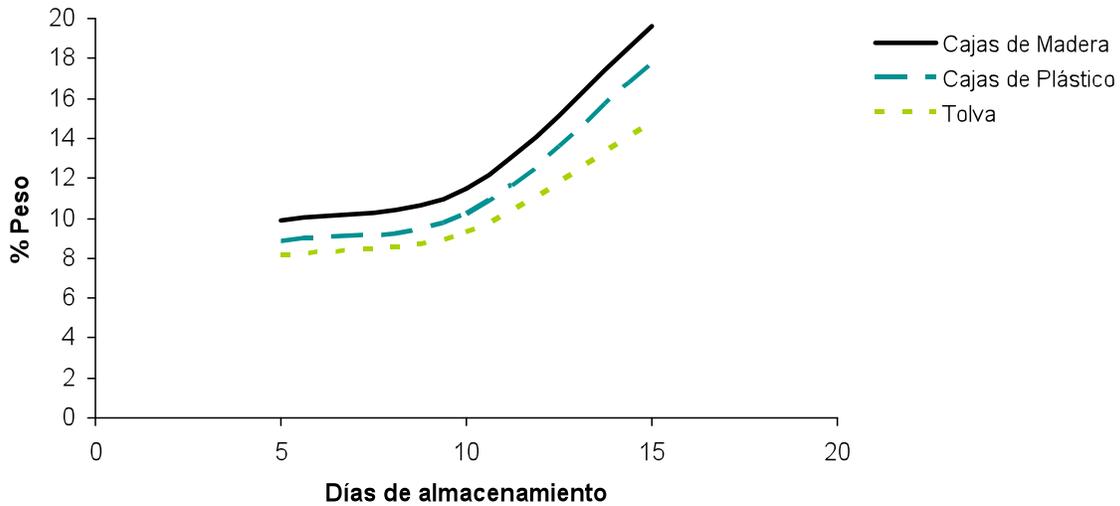
NS=No significativo; \* =Significativo al 90% de probabilidad; \*\*=Significativo al 99% de probabilidad

\*Ole: Oleocelosis, Pic: Picaduras, Ras.: Raspaduras, Fum.: Fumagina

## 6.7. Método de Recepción

### 6.7.1. Pérdidas de Peso

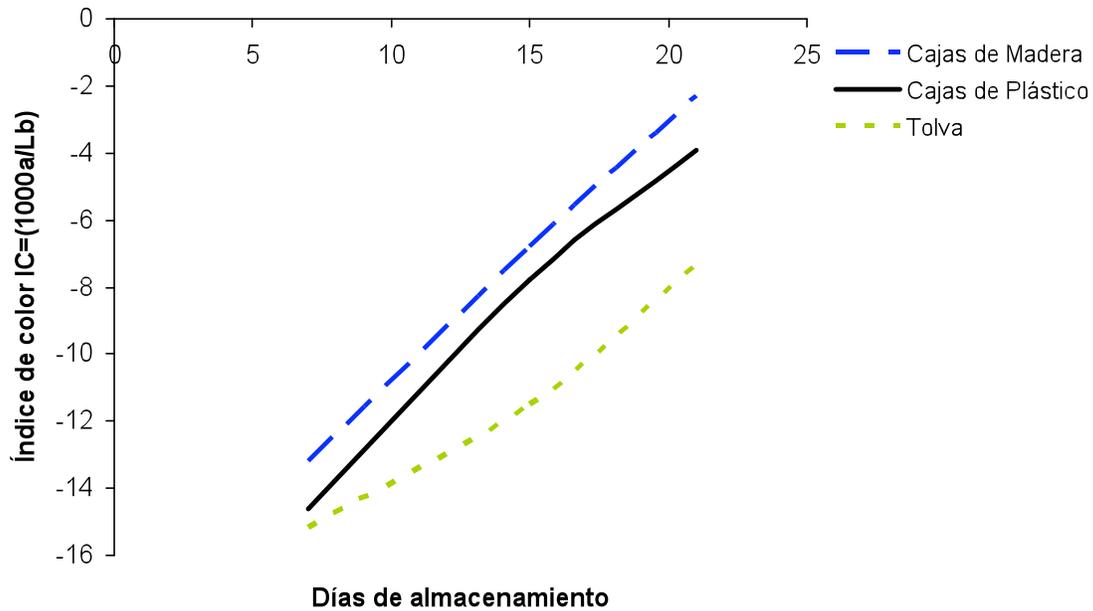
En este caso presenta diferencia estadística significativa en 10 y 15 días de almacenamiento, para el caso de 5 días los frutos perdieron en promedio un 10.3% y el método de recepción en tolva obtuvo menos pérdida de peso, para el caso de 21 días los frutos perdieron en promedio un 17.4% y también el menor en pérdida de peso fue con la recepción en tolva Cuadro 13 y Figura 13.



**Figura 13. Efecto del método de recepción sobre las pérdidas de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR).**

### 6.7.2. Índice de Color

Con respecto a la pérdida de color presenta diferencia estadística significativa en 10 días de almacenamiento, es decir siendo con tonalidad mas verde (-11.5), se presento con tolva y los de color menos verde (-6.2), para la recepción con cajas de madera, también con 15 días de almacenamiento se presenta con tonalidad mas verde (-7.5) con tolva y menos verde cajas de madera (-2.3); sin embargo con 5 días de almacenamiento no presentan diferencia estadística significativa (Cuadro 13 y Figura 14).



**Figura 14. Efecto del método de recepción sobre las pérdidas de color de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR).**

### 6.7.3. Sólidos Solubles Totales

Solo a los 15 días de almacenamiento la diferencia estadística significativa en el método de recepción en tolva, donde el mayor contenido de SST se presentó (9.3%) y menor con cajas de plástico y cajas de madera, sin embargo con 5 y 10 días de almacenamiento no presentan diferencia estadística significativa Cuadro 13.

### 6.7.4. Acidez Titulable

En el análisis estadístico no marcó diferencia significativa con los respectivos tratamientos de recepción a los días 5, 10 y 15 de almacenamiento Cuadro 15.

### 6.7.5. Índice de Daños

En el análisis estadístico presentó diferencia significativa con oleocelosis, picaduras, raspaduras y fumagina siendo el mejor método de recepción la tolva

para tener el menor porcentaje de daños en los frutos de limón mexicano Cuadro 16 y Figura 15.

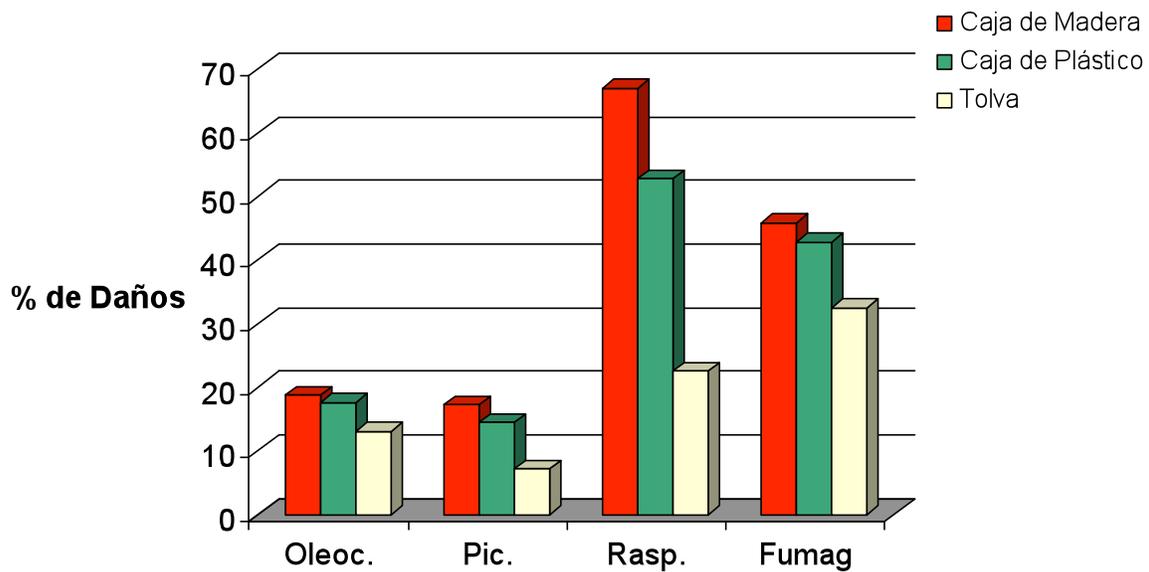


Figura 15. Efecto del método de recepción sobre el Índice de daños de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $75 \pm 5\% \text{ HR}$ ).

**Cuadro 13. Efecto del método de recepción y grado de tecnificación del empaque sobre las pérdidas de peso, color de frutos, SST y Acidez Titulable de frutos de limón mexicano almacenados a Temperatura  $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR.**

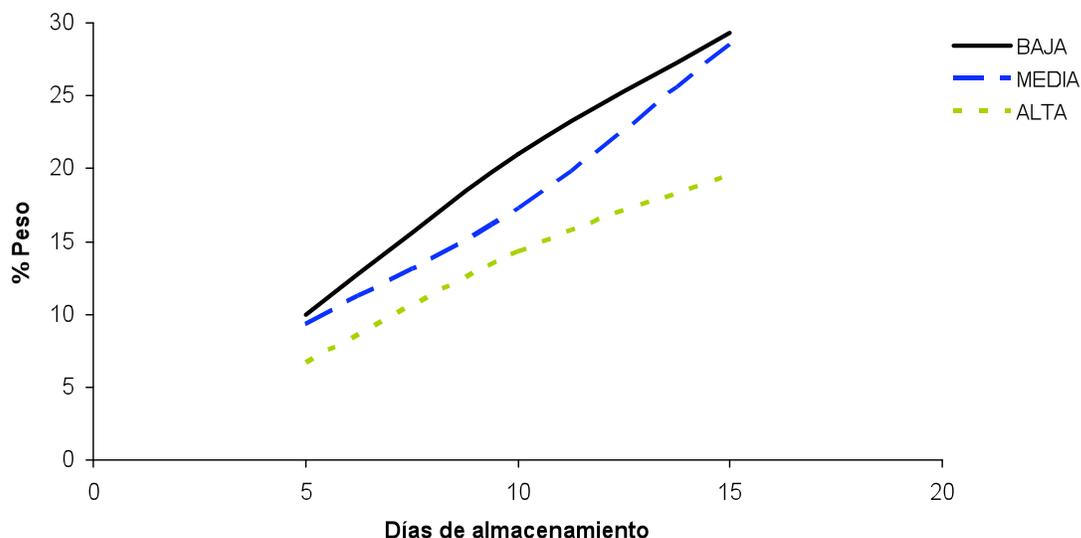
FACTOR	Pérdidas de peso (%)			Índice de Color IC=(1000a) / (Lb)			SST (%)			Acidez (% Ac. cítrico)		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
<b>Método de Recepción</b>												
Cajas de Madera	9.9a	11.5a	19.6a	-13.2a	-6.8b	-2.3b	7.5a	7.8a	8.2b	12.22a	10.93a	9.31a
Cajas de Plástico	8.8a	10.2a	17.8a	-14.6a	-7.8b	-3.9b	7.5a	7.9a	8.1b	11.50a	10.67a	8.93a
Tolva	8.1a	9.3b	14.8b	-15.2a	-11.5a	-7.3a	7.7a	8.4a	9.3a	12.00a	11.12a	9.77a
<b>Grado de Tecnificación</b>												
BAJA	10.0a	21.0a	29.3a	-16.3b	-11.4b	-8.1a	7.0a	7.7a	8.3a	11.83a	9.01b	8.56a
MEDIA	9.3a	17.3b	28.5a	-17.6b	-11.9b	-7.6a	7.1a	7.9a	8.2a	12.22a	9.27b	8.76a
ALTA	6.6b	14.3c	19.5b	-23.9a	-18.1a	-8.2a	7.5	7.9a	8.4a	11.94a	11.23a	9.13a

Las medias seguidas por una letra diferente son significativamente diferentes dentro de las columnas, por la prueba de comparación de medias de Tukey,  $P \leq 0.05$ .

## 6.8. Grado de Tecnificación

### 6.8.1. Pérdidas de peso

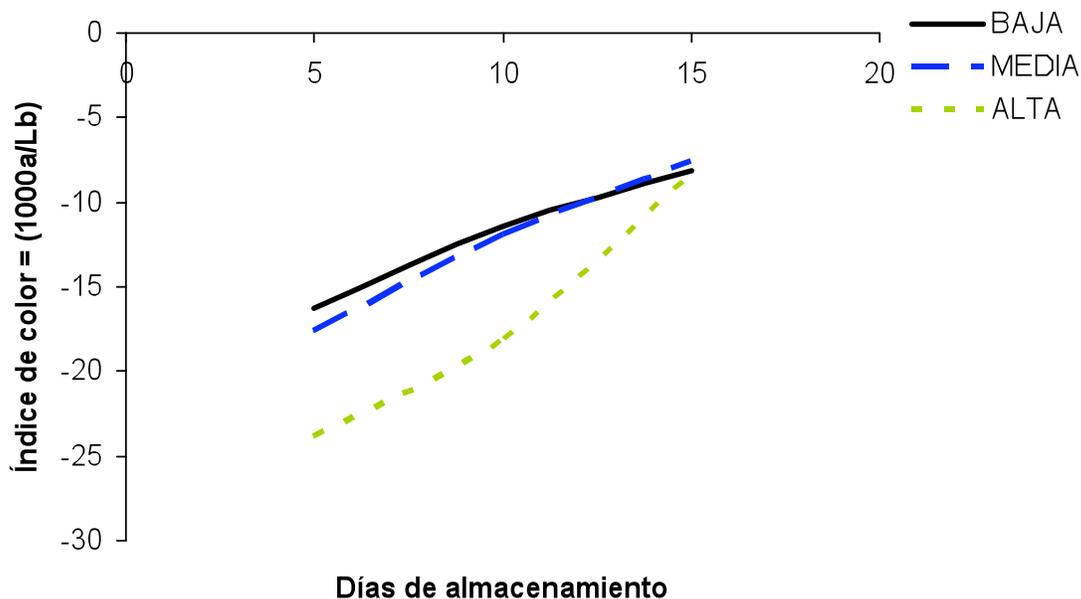
En este caso presenta diferencia estadística significativa en 5, 10 y 15 días de almacenamiento, para el caso de 5 días los frutos perdieron en promedio un 8.6% y el grado de tecnificación alta obtuvo menos pérdida de peso, para el caso de 10 días los frutos perdieron en promedio un 17.5% y también el menor en pérdida de peso fue con alta tecnificación que obtuvo menos pérdida de peso, así como a los 15 días de almacenamiento que el promedio de pérdida de peso 25.8%, siendo el de menor pérdida el empaque de alta tecnificación Cuadro 13 y Figura 16.



**Figura 16. Efecto del grado de tecnificación sobre las pérdidas de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR).**

### 6.8.2. Índice de color

Con respecto a la pérdida de color presenta diferencia estadística significativa en 5 días de almacenamiento, es decir siendo con tonalidad mas verde (-23.9), se presento con alta tecnificación de empaque y el color menos verde (-16.3), para el empaque de baja tecnificación. También con 10 días de almacenamiento se presenta con tonalidad mas verde (-18.1) con alta tecnificación y menos verde con baja tecnificación (-11.4); sin embargo con 15 días de almacenamiento no presentan diferencia estadística significativa Cuadro 13 y Figura 17.



**Figura 17. Efecto del grado de tecnificación sobre las pérdidas de color de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR).**

### 6.8.3. Sólidos solubles totales

En el análisis estadístico no marcó diferencia significativa con los respectivos tratamientos de recepción a los días 5, 10 y 15 de almacenamiento Cuadro 13.

### 6.8.4. Acidez Titulable

Solo a los 10 días de almacenamiento la diferencia estadística significativa en el empaque de alta tecnificación, donde el mayor contenido de ácido cítrico se presentó (11.23%) y menor con en el empaque de baja tecnificación (9.01%), sin embargo con 5 y 15 días de almacenamiento no presentan diferencia estadística significativa Cuadro 13.

### 6.8.5. Índice de daños

En el análisis estadístico presentó diferencia significativa con oleocelosis, picaduras, raspaduras y fumagina siendo el mejor método de recepción la tolva

para tener el menor porcentaje de daños en los frutos de limón mexicano Cuadro 14 y Figura 18.

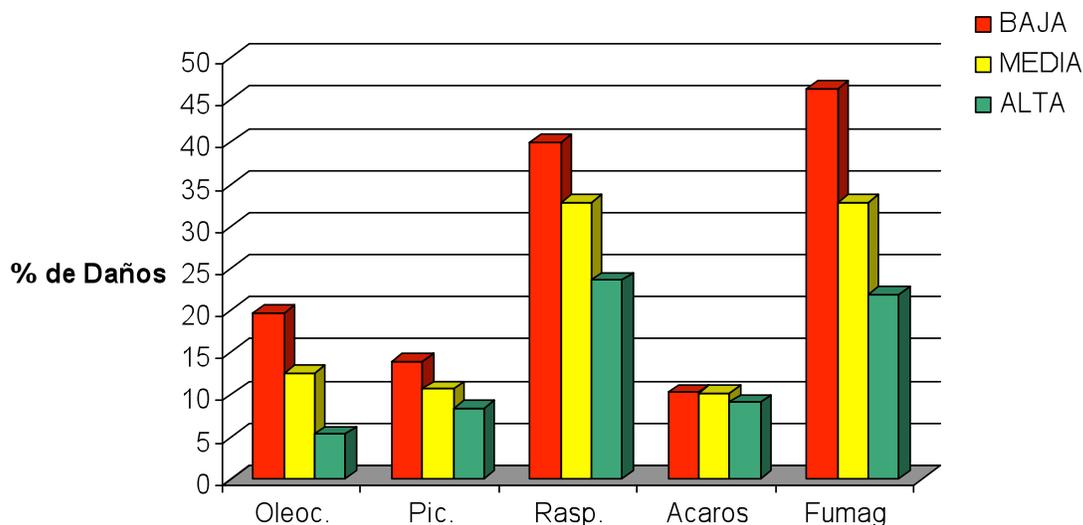


Figura 18. Efecto del grado de tecnificación sobre el índice de daños de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR).

Cuadro 14. Efecto del método de recepción y grado de tecnificación sobre la incidencia de daños en frutos de limón mexicano (valores al momento en empaque)

FACTOR	Daños en el fruto				
	Oleoc.	Pic.	Rasp.	Acaros	Fumag
<b>Método de recepción</b>					
Caja de Madera	18.7a	17.2a	67.1a	12.8a	45.9a
Caja de Plástico	17.6a	14.4a	52.8a	12.6a	42.9a
Tolva	13.1b	7.1b	22.5b	11.4a	32.5b
<b>Grado de Tecnificación</b>					
BAJA	19.7a	13.9a	40.0a	10.3a	46.3a
MEDIA	12.6b	10.7b	32.8b	10.2a	32.9b
ALTA	5.3c	8.4c	23.6c	9.1a	21.9c

Las medias seguidas por una letra diferente son significativamente diferentes dentro de las columnas, por la prueba de comparación de medias de Tukey,  $P \leq 0.05$ .

## 6.9. Efecto del método de recepción y grado de tecnificación (MDR\*GTEC)

### 6.9.1. Pérdidas de peso

Para el caso de las pérdidas de peso con la interacción presenta diferencia significativa a los 5 días siendo tolva con alto grado de tecnificación del empaque con la menor pérdida de peso, a los 10 y 15 días de almacenamiento de igual manera la menor pérdida de peso se conjuga con el empaque de alta tecnificación y el método de recepción que le corresponde por tolva Figura 19.

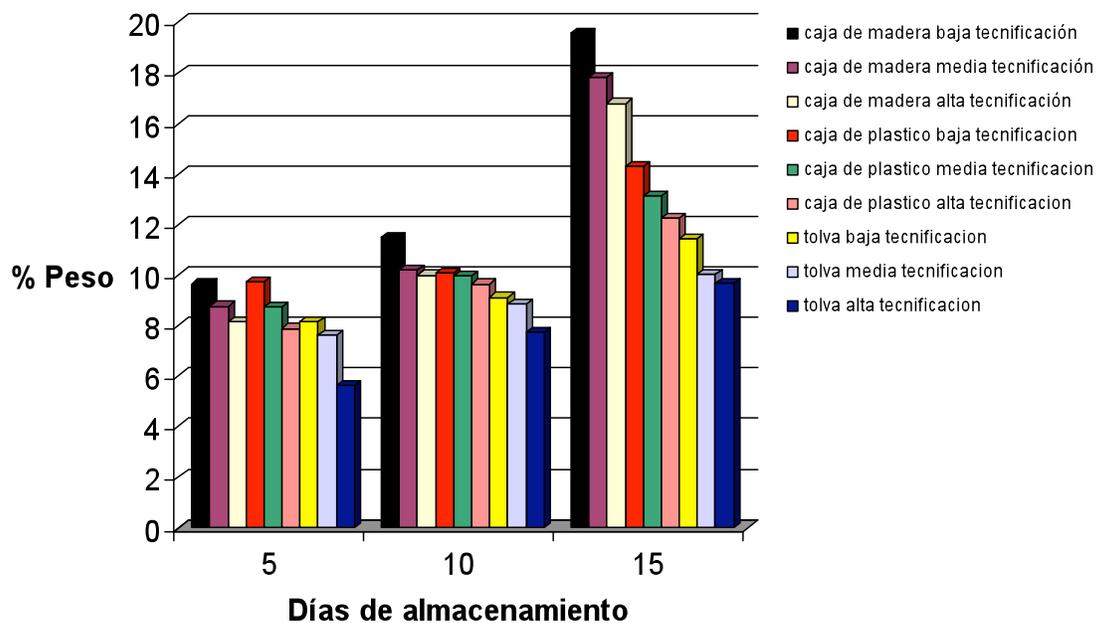


Figura 19. Pérdida de peso de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5\%$  HR) considerando la interacción Método de recepción y Grado de Tecnificación (MDR\*GTEC)

### 6.9.2. Índice de color

Para la pérdida de color la interacción de método de recepción y grado de tecnificación presenta la diferencia significativa a los 5 y 10 días de almacenamiento siendo tolva con alto grado de tecnificación del empaque donde presenta la menor pérdida de color durante el almacenamiento Figura 20.

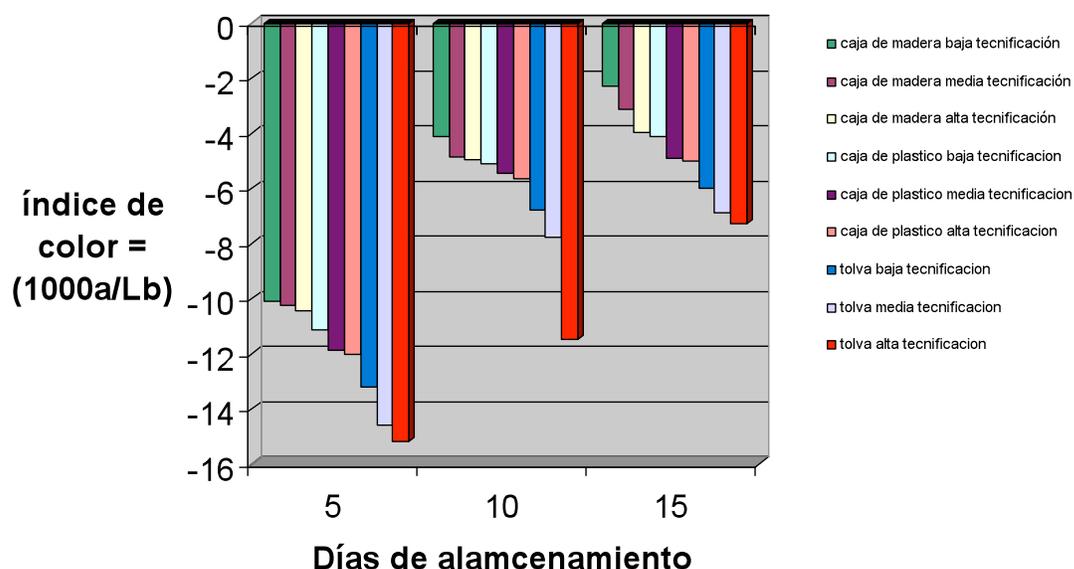


Figura 20. Pérdida de color de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $75 \pm 5\% \text{ HR}$ ) considerando la interacción Método de recepción y Grado de Tecnificación (MDR\*GTEC)

### 6.9.3. Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales con la interacción no presentan diferencia significativa si no hasta los 15 días de almacenamiento donde el valor mas alto 9.6% es con tolva con alto grado de tecnificación.

### 6.9.4. Acidez Titulable

En el análisis estadístico la interacción del método de recepción con el grado de tecnificación no presenta diferencia significativa en los 5, 10 y 15 días de

almacenamiento de frutos analizados de limón mexicano no presentan diferencias significativas.

### 6.9.5. Índice de daños

El análisis estadístico la interacción presenta diferencias con respecto a la oleocelosis, picaduras, raspaduras y fumagina siendo la recepción con tolva en empaque de alta tecnificación, presenta el menor porcentaje con diferencia significativa Figura 21.

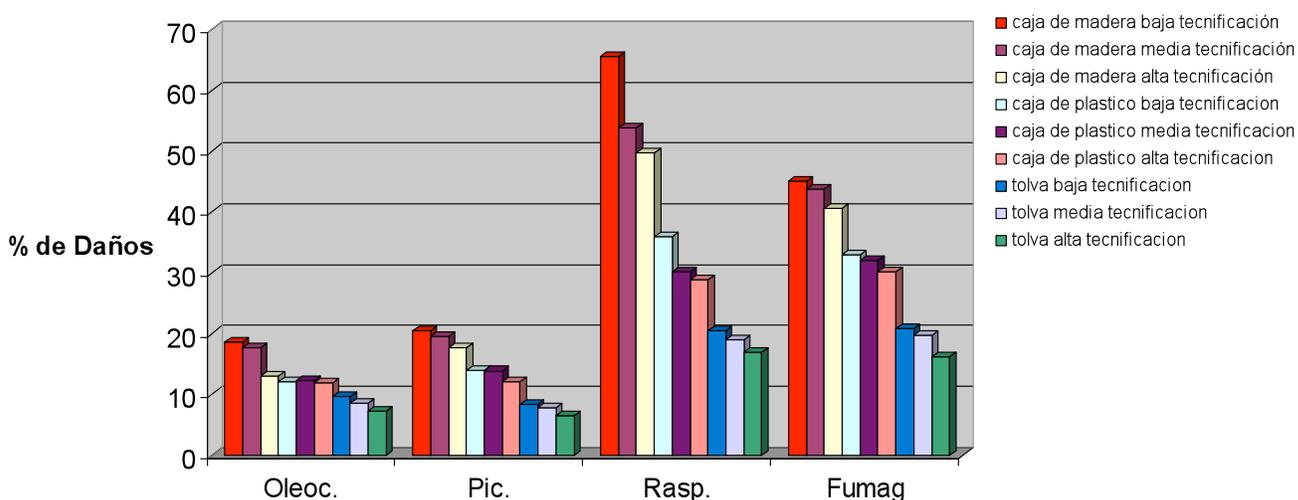


Figura 21. Índice de daños de frutos de limón mexicano ( $26 \pm 2$  °C;  $75 \pm 5$  % HR) considerando la interacción Método de recepción y Grado de Tecnificación (MDR\*GTEC)

### Experimento 3

**Aplicación de la conservación en condiciones variables y programadas para prolongar la vida de anaquel de los frutos de limón mexicano con el mínimo de daños en su calidad.**

Se ha estudiado en mandarinas y naranjas que la fosfolipasa es la enzima que propicia el demerito de la calidad de la fruta en el desarrollo de daño postcosecha por picaduras (Alferez *et al.*, 2008) por ello es importante que la conservación a

través de cera o película plásticas para evitar el deterioro de la cascara de los frutos de limón

También en el caso de mandarinas ‘Satsuma’, se ha encontrado que la inmersión en agua caliente, para evitar daños por frío controlando la actividad de enzimas, donde menciona que temperaturas superiores a 50 °C, incrementa la susceptibilidad de los frutos (Ghasemnezhad *et al.*, 2008)

Para este experimento las condiciones variables se determinaron aplicando cera y películas plásticas para medir las variables de su calidad interna, que muestren que tratamientos ayudan para prolongar la vida de anaquel del producto con el mínimo de daños en su calidad, para ello el primer análisis se realizo a temperatura ambiente  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , por 2 semanas y el segundo análisis se presenta a temperatura de refrigeración a  $8^{\circ}\text{C}$ , por 8 semanas. Los resultados del análisis se muestran en el siguiente Cuadro 15.

#### 6.10. Análisis a temperatura ambiente $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

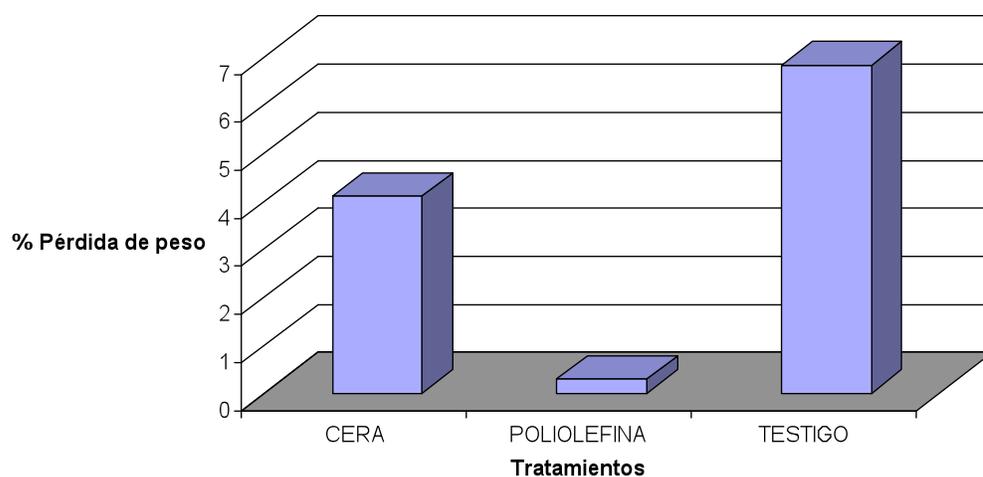
**Cuadro 15. Resultados de los análisis de varianza del experimento del efecto de cera (carnauba)\* película plástica (poliolefina) y testigo, después de 2 semanas en condiciones de temperatura ambiente  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$**

TRATAMIENTOS	2 semanas de almacenamiento a temp. $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .			
	Pérdida de Peso %	Índice de color IC= 1000a/Lb	SST (%)	Acidez (% Ac. cítrico)
<b>CERA</b>	4.11b	-12.89a	8.0a	8.76a
<b>POLIOLEFINA</b>	0.30c	-13.02a	8.8a	9.47a
<b>TESTIGO</b>	6.83a	-9.34b	8.5a	7.55b
<b>Dif. Sig.</b>	**	*	NS	*

NS=No significativo; \* =Significativo al 90% de probabilidad; \*\*=Significativo al 99% de probabilidad

### 6.10.1. Pérdidas de peso

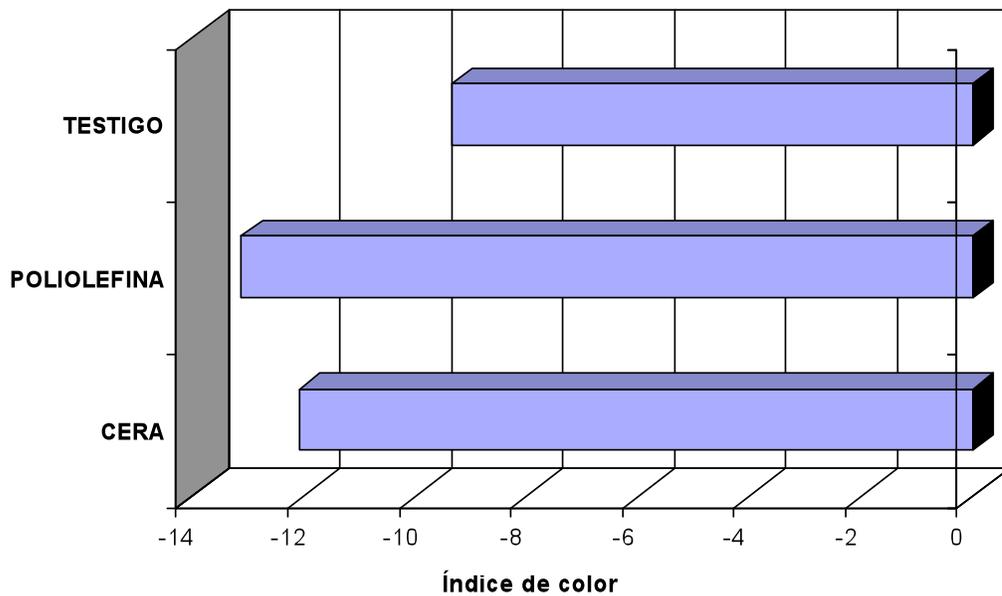
En este caso presenta diferencia estadística significativa a 2 semanas de almacenamiento, los frutos perdieron en promedio un 3.75% y el efecto de la aplicación de poliolefina obtuvo menos pérdida de peso (Cuadro 15 y Figura 22).



**Figura 22. Efecto de los tratamientos sobre las pérdidas de peso de frutos de limón mexicano ( $20 \pm 2$  °C).**

### 6.10.2. Índice de color

Con respecto al índice de color presenta diferencia estadística significativa, es decir siendo con tonalidad mas verde (-13.02), se presento con poliolefina y el color menos verde (-9.34), para el testigo (Cuadro 15 y Figura 23).



**Figura 23. Efecto de la aplicación de los tratamientos sobre el índice de color de frutos de limón mexicano ( $20 \pm 2$  °C).**

### **6.10.3. Sólidos solubles totales**

En el análisis estadístico no marcó diferencia significativa con los respectivos tratamientos a 2 semanas de almacenamiento (Cuadro 15).

### **6.10.4. Acidez Titulable**

A las 2 semanas de almacenamiento la diferencia estadística significativa en los tratamiento, donde el mayor contenido de ácido cítrico se presentó con poliolefina (9.47%) y menor con el testigo (7.55%) (Cuadro 15).

## 6.11. Análisis a refrigeración 8 °C.

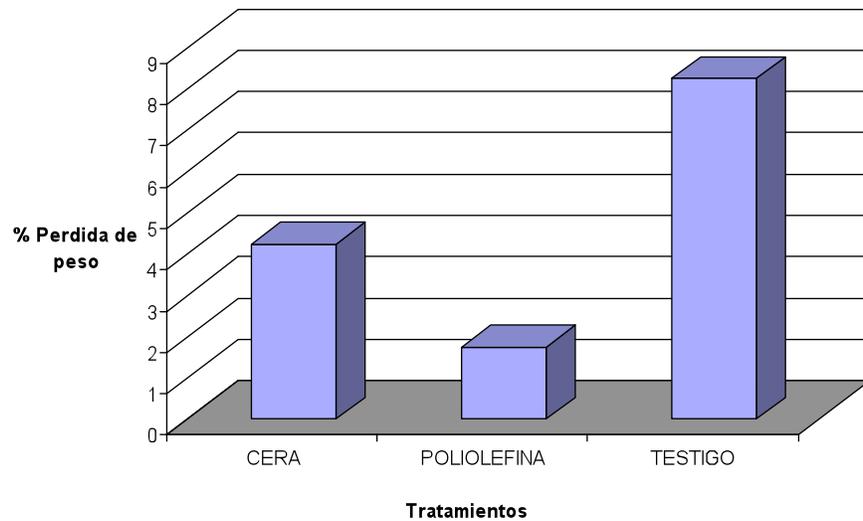
**Cuadro 16. Resultados de los análisis de varianza del experimento del efecto de cera (carnauba)\* película plástica (poliolefina) y testigo, después de 8 semanas en condiciones de temperatura refrigeración 8 °C**

	8 semanas de almacenamiento en refrigeración 8 °C			
TRATAMIENTOS	Pérdida de Peso	Índice de Color IC=(1000a) / (Lb)	SST (%)	Acidez (% Ac. cítrico)
CERA	4.23b	-9.22b	7.8a	8.98 <sup>a</sup>
POLIOLEFINA	1.75c	-11.67c	7.3a	7.67b
TESTIGO	8.23a	-4.67a	8.0a	7.27b
Dif. Sig.	**	**	NS	*

Las medias seguidas por una letra diferente son significativamente diferentes dentro de las columnas, por la prueba de comparación de medias de Tukey,  $P \leq 0.05$ .

### 4.11.1. Pérdidas de peso

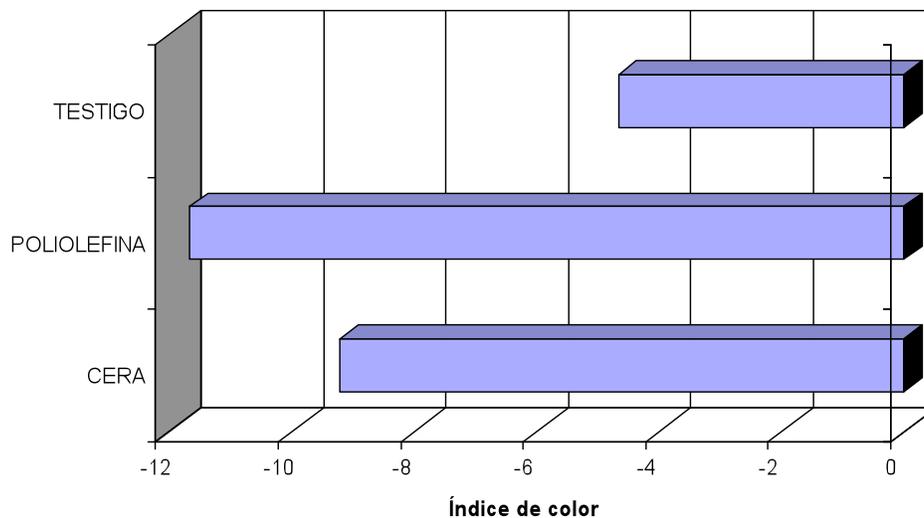
En este caso presenta diferencia estadística significativa en 8 semanas de almacenamiento, los frutos perdieron en promedio un 4.74% y el efecto de la aplicación de poliolefina menos pérdida de peso (Cuadro 16 y Figura 24).



**Figura 24. Efecto de los tratamientos sobre las pérdidas de peso de frutos de limón mexicano (8 °C).**

### 6.11.2. Índice de color

Con respecto al índice de color presenta diferencia estadística significativa en 8 semanas de almacenamiento, es decir siendo con tonalidad mas verde (-11.67), se presento con poliolefina y el color menos verde (-4.67), para los frutos del testigo (Cuadro 16 y Figura 25).



**Figura 25. Efecto de los tratamientos sobre el índice de color de frutos de limón mexicano (8 °C).**

### **6.11.3. Sólidos solubles totales**

En el análisis estadístico no marcó diferencia significativa con los respectivos tratamientos de cera a las 2 semanas de almacenamiento Cuadro 16.

### **6.11.4. Acidez Titulable**

A las 8 semanas de almacenamiento la diferencia estadística significativa en los tratamientos, donde el mayor contenido de ácido cítrico se presentó con cera (8.98%) y menor con el testigo (7.27%), Cuadro 16.

## VII. DISCUSIÓN

### 7.1 Pérdidas de Peso

Los tratamientos donde presentaron la mayor pérdida de peso, para el experimento 1 fue la hora de cosecha (9 am), en el experimento 2 fue el grado de tecnificación (nivel bajo) del empaque y en el experimento 3 el testigo (limón almacenado sin ningún recubrimiento). En este sentido, las pérdidas de peso son mayores cuando el contenido de humedad en el ambiente es más alta, ya que las células presentan mayor turgencia y susceptibilidad al daño mecánico (Sala *et al.*, 2000; Alferez *et al.*, 2008). Undurraga *et al.*, (2007), reportaron que limones Eureka cosechados en color amarillo 5 días después de una lluvia y almacenados a 3, 7, 11 °C, durante 35 días tuvieron pérdidas de peso altamente significativas con respecto a frutos cosechados sin la presencia de lluvia. Con respecto al bajo nivel de tecnificación el daño al fruto fue mayor por lo tanto el estrés al que fue sometido el fruto provocó las pérdidas de peso mayores; finalmente los frutos sin ningún recubrimiento cereo mantienen su alta tasa transpiratoria, sin presentar ningún obstáculo para la pérdida de agua.

### 7.2 Color

Los tratamientos en donde la pérdida de color verde fue más acelerada fue en el experimento 1 fue con grado de madurez (avanzado) , en el experimento 2 con el método de recepción en el sistema de baja tecnificación (cajas de madera) y en el experimento 3 el testigo (limón almacenado sin ningún recubrimiento). Por ser un fruto no climatérico los frutos de limón fueron cosechados en madurez avanzada es decir al inicio de la senescencia por lo cual la pérdida de clorofila se hizo más acelerada. Con respecto al grado de tecnificación es evidente el descuido de la empacadora con bajo grado de tecnificación ya que el tiempo de recepción y las condiciones de manejo del producto provocan las pérdidas de color dado el tiempo y la temperatura que se presentan. Finalmente dado que los recubrimientos céreos reducen la actividad metabólica del fruto, la degradación de clorofila fue

mayor en aquellos que no tuvieron recubrimiento céreo. Artes-Hernández *et al.*, (2007) reportaron que en limones `Lisbon` el índice de color fue afectado por la temperatura y el tiempo de almacenamiento siendo esta interacción altamente significativa, También en el caso de mandarina `Satsuma` la pérdida de color aumentó a los 90 días de almacenamiento en refrigeración a  $5 \pm 1$  °C con respecto al color a la cosecha de manera significativa (Kinay *et al.*, 2005),

### **7.3 Sólidos Solubles Totales**

En el experimento 1 no demostraron diferencias significativas con respecto a los tratamientos; sin embargo conforme a los días de almacenamiento mostraron los resultados diferencias mínimas, en el experimento 2 ninguno de los tratamientos mostraron diferencias significativas en el contenido de sólidos solubles totales, para el experimento 3 tampoco presentaron diferencia significativa, lo cual quiere decir que se puede afectar la apariencia del fruto, sin modificar su calidad interna y manteniendo un porcentaje de sólidos solubles totales sin variación. Undurraga *et al.*, (2007) reportaron que no existe diferencia significativa en el contenido de sólidos solubles totales en limones Eureka almacenados a 3, 7 y 11 °C durante 35 días. También Artés-Hernández *et al.*, (2007) mencionan que la interacción de temperaturas a 0, 2, 5 y 10 °C por 10 días de almacenamiento no presenta diferencias en el contenido de sólidos solubles totales para el limón Lisbon. Sin embargo en el caso de mandarina satsuma Ghasemnezhad *et al.*, (2008) reporta que con tratamiento de agua caliente a temperatura de  $50 \pm 5$  °C, durante 2 y 5 minutos bajo condiciones de almacenamiento en refrigeración a 2 °C por 8 semanas si afectó el contenido de sólidos solubles totales, posiblemente debido a las altas temperaturas a las que fue expuesto el fruto.

### **7.4 Acidez Titulable**

Los tratamientos en el experimento 1 no presenta diferencia significativa, sin embargo las interacciones método de corte y grado de madurez (Red-Manta-Caja

y frutos amarillos), hora y grado de madurez ( 17:00 hrs y frutos amarillos) si presentan diferencia altamente significativas, dadas las condiciones de manejo y estado avanzado de madurez las pérdidas en la acidez se hacen mas evidentes. En el experimento 2 no se presentaron diferencias en los tratamientos, y en el experimento 3 el testigo presenta una pérdida mayor de acidez con respecto al tiempo de almacenamiento, esto se supone a que los frutos presentan un proceso de maduración y senescencia que se refleja en su acidez. Se ha reportado (Undurraga *et al.*, 2007) que para los limones Eureka almacenados a 3, 7 y 11 °C durante 35 días no hay diferencias significativas en la acidez por lo cual no hay efecto de la interacción, también Artés-Hernández *et al.*, (2007) mencionan que no se presentan diferencias significativas en la acidez en limones Lisbon almacenados a 0, 2, 5 Y 10 °C por 10 días donde, solo la interacción temperatura, tiempo y corte muestran un efecto en la acidez significativo. Es el caso de la mandarina `Satsuma´ (Ghasemnezhad *et al.*, 2008) donde después de someterse a tratamiento con agua a  $50 \pm 5$  °C, durante 2 y 5 minutos, llevados los frutos a almacenamiento a 2 °C por 8 semanas el porcentaje de acidez no cambia en ninguno de los tratamientos y no existe diferencias estadísticamente significativas.

## VIII. CONCLUSIONES

### Experimento 1

De acuerdo con los resultados el método de corte, no representa un factor que incida en las pérdidas de peso de manera significativa, para el caso de pérdida de color el método de corte que presenta la menor pérdida es en el método Red-Manta-Caja después de 6 días a condiciones de comercialización.

Con respecto a las interacciones más importantes en cuestión de resultados, el método de corte de Red- Manta-Caja a las 13:00 horas presenta diferencias significativas con el resto de los tratamientos mostrando menor pérdida de peso y color.

De igual forma el sistema de corte Red- Manta-Caja con frutos cosechados en estado de madurez avanzada (frutos amarillos) presenta alta significancia y con las menores pérdidas de peso.

La mejor hora de cosecha a las 13:00 horas manteniendo la mejor calidad (menor pérdida de peso, color y daños mecánicos) en los diferentes estados de madurez.

## **Experimento 2**

El mejor método de recepción es en tolva donde se presentan menores pérdidas de peso y color, con una considerable reducción en los daños mecánicos.

El análisis realizado confirmó la hipótesis planteada de que el empaque con alta tecnificación presenta las menores pérdidas de calidad del fruto, con una reducción en las pérdidas de peso, color y menor índice de daños, dando como resultado fruto de mejor calidad.

La interacción que presentó los mejores resultados fue la recepción en tolva en un empaque de alta tecnificación que permite conservar la calidad de los frutos con el mínimo de daños conservando las características de peso y color del fruto.

### Experimento 3

El almacenamiento a temperatura ambiente por 2 semanas con el uso de películas plásticas (poliolefina) es lo mas favorable para evitar las perdidas de peso y color. Cabe mencionar que el análisis presento alta diferencia significativa con respecto al uso de cera y al testigo.

Para el caso de almacenamiento en refrigeración (8 °C) por 8 semanas, el uso de película plástica (poliolefina), también muestra mejores resultados en comparación con el uso de cera y el testigo de manera altamente significativa.

Por lo tanto se concluye que el uso de películas platicas incrementa la vida de anaquel de los frutos de limón mexicano con el mínimo de daños, por lo que, se recomienda su uso; sin embargo esto supone un incremento en el costo de producción del fruto, que tiene que ser evaluado para su posible aplicación comercial.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Agustin M. y Almela V. 1991. Aplicación de fitorreguladores en citricultura. Edit. AEDOS Barcelona España.
- Agustin M. 2000. Citricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona España 416 pp.
- Albrigo. L.G. 1986. Peel Morphology and fruit blemishes. In Citrus flowering, fruit set and development. (Citrus short course) edited. Ferguson, J.J. University of Florida. Institute of Food Agric. Science pp 73-81.
- Alferez F., Lluch Y., Burns K. 2008. Phospholipase A2 and postharvest peel pitting in citrus fruit. Postharvest Biol. Technol. 49: 69-76.
- Almeida I. L., Rodriguez J.D., and Orika E. 2004. Application of Plant Growth Regulators at pre-harvest for fruit Development of `Pera` Oranges. Brazilian Arch. Tech. Int. J. 47: 511-520.
- Anaya-Juárez N., Bosquez-Molina E., Domínguez- Soberanes J., Pérez-Flores L., Díaz de León-Sánchez, F., Kerbel-Lifshitz C. 2000. Efectos de diferentes temperaturas de acondicionamiento en la tolerancia al daño por el frío del limón persa (*Citrus Latifolia Tanaka*) almacenado a 8<sup>0</sup>C. Rev. Iber. Tecnología Postcosecha. 2: 172-178.
- Aquino, S.D., Palma A., and Agabbio M. 2003. Response of three citrus species to different hygrometric conditions. Acta Hort. 604: 631-637.
- Aquino, S.D., Piga A., Agabbio M., and McCollum T. G. 1998. Film wrapping delays ageing of `Minneola` tangelous under shelf-life conditions. Postharvest Biol. Technol 14: 107-116.

- Ariza F. R., Cruzaley S.R., Velásquez G.E. 2003. Daños y control de la antracnosis para la producción del Limón Mexicano de Invierno. Selección UACH. Memorias X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencia Hortícolas, IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Ornamental: 10:338.
- Artes, F. 1995. Innovaciones en los tratamientos físicos modulados para preservar la cantidad de los productos hortofrutícolas en la postrecolección II tratamientos térmicos cíclicos. Rev. Esp. Ciencia Tecnol. Alim 35: 45-64, 35: 139-149 y 35: 247-269.
- Artés F., Escriche A.J. and Marín J.G. 1993. Treating 'Primofiori' lemons in cold storage with intermittent warming and carbon dioxide. Hortscience 28: 819-821.
- Artes, F. and Fernández-Trujillo, J. P. 1999. Recent studies on postharvest behavior of peaches. Rev. Develop. Agric. Food Chem. 3:471-487.
- Artés F., Marín J.G., Porras I. y Martínez J. A. 2000. Evolución de la calidad del Limón, Pomelo Y Naranja durante la desverdización. Rev. Iber. Tecnología Postcosecha. 2: 71-79.
- Artes-Hernández, F. 2003. Datos por frío en la postrecolección de frutas y hortalizas. En avances en ciencias y técnicas del frío-1. Editores A. Lopez, A. Esnoz Y f. Artes: Edit. UPCT y SECYTEF p 299-330.
- Artés-Hernández F., Rivera-Cabrera F., Kader A. A. 2007. Quality retention and potential shelf-life of fresh-cut lemons as affected by cut type and temperature. Postharvest Biol. Technol 43: 245-254.

- ASERCA. 2002. Comercialización de los productos agropecuarios: limon mexicano. Apoyos y servicios a la comercialización agropecuaria en México SAGARPA. México, D.F. Vol. 101: 1-30.
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 1984. Official methods of analysis. W. Horwitz (ed), 13<sup>th</sup> Ed. Benjamin Franklin station Washington, DC. USA. 1018 p.
- Association of Official Analytical! Chemist (AOAC). 1990. Official methods of analysis. K. Herlich (ed), 15<sup>th</sup> Ed. Willson Blvd. Arlington, Virginia. USA. Vol II. 1298 p.
- Aung L. H., Jenner J.F., Fouse D. C., and Houck L. G. 2000. Postharvest conditioning temperatures and fruit maturity and flavedo soluble sugars of coastal and desert lemons J. Hortic. Sci. Biotech. 74: 288-292.
- Baez- Sañudo, R., Tadeo F.R., Primo-Millo E. and Zacarías L. 1993. Physiological and ultra estructural changes during the ripening and senecences of Clementine, mandarin. En Acta Horticulturae 343. pp. 18-24.
- Baldwin, E. A., J. K. Burns, W. Kazokas, J. K. Brecht, R.D. Hagenmaier, R.J. Bendedr and E. Pesis. 1999. Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica*) ripening during storage. Postharvest Biol. Technol 17: 215-226.
- Ben-Yehoshua, S. Kobiler I. and Shapiro B. 1979. Some physiological effects of delaying deterioration of citrus fruit by individual seal packaging in high density polyethylene film. J. Amer Soc. Hort Sci. 104: 868-872.
- Ben-Yehoshua., S. Peretz., J. Rodov., V. and Nafussi, B. 2000. Postharvest application of hot water treatment in citrus fruits: the road from the laboratory to the packing-house. Acta Hort. 518:19-29.

- Bosque, E., Vernon J. C., Pérez J., y Guerrero I. 2000. Películas y cubiertas para la conservación en fresco de frutas y hortalizas. Industria Alimentaria. D.F. México.
- Bosquez-Molina, E., Domínguez-Soberanes J., Pérez-Flores J., Díaz F., de Leon S., and J. Vernon J.C. 2003. Effect of edible coatings on storage life of mexican limes (*Citrus aurantifolia* Swingle) Harvested in two different periods. Acta Horticulture 632: 329-335.
- Cajuste J.F., Lafuente M. 2007. Ethylene-induced tolerance to non-chilling peel pitting as related to phenolic metabolism and lignin content in 'Navelate' fruit. Postharvest Biol. Technol. 45: 193-203.
- Castillo, A., Domínguez J., Bosques M. E., Pérez L., Díaz de León F. 2002. Efecto del almacenamiento refrigerado a diferentes temperaturas ( 4, 7 ,10 Y 20 °C) en la tolerancia al daño por frío del Limón Mexicano de dos regiones productoras (*Citrus Aurantifolia Swingle*). Rev. Iber. Tecnología Postcosecha.4: 93-101.
- Coyotzi, A., Ávila R., Bosquez E., Domínguez J., y Vernon J. C. 2002. Efectos de la aplicación de recubrimientos a base de quitosano, cera de candelilla y abeja en la conservación postcosecha del Limón Mexicano (*Citrus aurantifolia Swingle*).Rev. Iber. Tecnología Postcosecha. 4: 102-106.
- Deylieghera F., Jacxsens R., Tatay L.M.S., and Debevere J. 2003. Modelling the relation between ethylene production rate, respiration rate and their influence on climatic and non-climatic fruits. Acta Hort. 600: 647-651.
- El-Otmani, M. and Coggins, C.W. Jr. 1985.Fruit structure of epicuticular wax of Washington Navel orange fruits J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110: 371-378.
- Elizer E. G. 2001. Chlorophyll decomposition in senescing leaves and ripening fruits: functional and evolutionary perspectives. Acta Hort. 553:331-335.

- Enriquez F.G., Matsui T., and Kawada K. 2001. Changes in the activities of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase during low temperature storage of asparagus spears and subsequent senescent at 25°C. *Acta Hort.* 533: 337-339.
- Escalante. G. L., Noriega A. G., Cruz H.S. 2003. Análisis de la Cadena Agroindustrial Limón Mexicano ( *Citrus aurantifolia* Swingle) en el Estado de Guerrero. Selección UACH. Memorias X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencia Hortícolas, IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Ornamental: 10: 312.
- Ferguson, I.B, and Veierskov, B.K. 2001. Programmed cell death in the postharvest context. *Acta Hort.* 533:325-329.
- Fujii H., Shimada T., Sugiyama A., Endo T., Nishikawa F., Nakano M., Ikoma Y., Shimizu T., Omura M. 2008. Profiling gibberellin (GA3)-responsive genes in mature mandarin fruit using a citrus 22K oligoarray. *Sci. Hortic.* 116: 291-298.
- Ghasemnezhad M., Marsh K., Shilton R., Babalar M., Woolf A. 2008. Effect of hot water treatments on chilling injury and heat damage in 'satsuma' mandarins: Antioxidant enzymes and vacuolar ATPase, and pyrophosphatase. *Postharvest Biol. Technol.* 48: 364-371.
- Goldshmidt, E.E.1980.Pigment changes associated with fruit maturation and their control. In. *Senescence in plants* (K.W. Thimamn CRC Press, Boca Raton (ISBN: 0-8493-5803-5): 207-217.
- Henrio R.E. 2006. Postharvest characteristics of navel oranges following high humidity and low temperature storage and transport. *Postharvest Biol. Technol.* 42: 57-64.
- Herppich B. W., Linke M., Landahl S., and Gzik A. 2001. Preharvest and postharvest responses of radish to reduced water supply during growth. *Acta Hort.* 533: 89-90.

- Hong S-I., Lee H-H., Kim D. 2007. Effects of hot water treatment on the storage stability of satsuma mandarin as a postharvest decay control. *Postharvest Biol. Technol.* 43: 271-279.
- Huang R., Xia R., Hu L., Lu Y., Wang M. 2007. Antioxidant activity and oxygen-scavenging system in orange pulp during fruit ripening and maturation. *Sci. Hortic.* 113: 166-172.
- Jones, B., Peach J.C, Bouzayen M., Lelievre J.M., Guis M., Romojaro F. 2001. Ethylene and developmentally-regulated processes in ripening climacteric fruit. *Acta Hort.*533: 133-138.
- Kinay P., Yildiz F., Sen F., Yildiz M., Karacali I. 2005. Integration of pre- and postharvest treatments to minimize *Penicillium* decay of Satsuma mandarins. *Postharvest Biol. Technol.* 37: 31-36.
- Leguizamon G., Luchsinger L., and Razeto B. 2001. Influence of harvest season, fruit maturity and storage temperature on the development of chilling injury “ Eureka” lemon fruit. In *Acta Horticulturae* 553: 297-300.
- Lyons, J.M., Raison J.K. and Steponkus P.L. 1979. The plant membrane in response to low temperature: An overview. Pp. 1-24. In: J.M. Lyons, D. Graham and J.K. Raison (eds.) *Low temperature stress in crops plants*. Academic Press. London and New York.
- Mark R., Gerard K., Pam L., Mindy L., and McClendon T. 2003. Field evaluation of cold hardy citrus in coastal Georgia. *Amer. Soc. Hortic. Sci.* 13: 33-41.

- Medina U.V.M., Robles G., Becerra-Rodríguez J., Orozco R. J., Orozco-Santos F., Cruz X. Chávez C., y Félix F. C. 2001. El cultivo del limón mexicano Libro técnico # 1 INIFAP, CIRPAC. Campo Experimental Tecomán 188 p.
- Medina V., Saucedo C. 2003. Manejo de la fruta de limón mexicano en campo y empaque para conservar su calidad en postcosecha. Informe Técnico Final. Proyecto de CONACYT-SIMORELOS 990301016.
- Meza-Rangel, J. 2001. Tecnologías para disminuir la sensibilidad al frío en frutos de toronja con cuarentenas por bajas temperaturas. Tesis Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados Texcoco, México 83 pp.
- Ramírez M., Pérez L. M. D., Flores V. U., Cabrera H. J., Almaguer V. G. 2003. Diagnostico del Cultivo del Limon Persa En Martinez de la Torre Veracruz. Selección UACH. Memorias X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencia Hortícolas, IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Ornamental: 10: 329.
- More G.A., Guy C.L., Tozlu I., and Weber C.A. 2000. Mapping quantitative trait loci for salt tolerance and cold tolerance in *Citrus grandis* (L.) Osb, X *Poncitrus Trifoliata* (L.) Raf. hybrid populations. Acta Hort. 535:37-45.
- Nigel D. P., and Gray K. 2003. A debate on quality and consumer satisfaction in citrus fruit. Acta Hort. 604: 431-436.
- Palma A., Aquino S.D., and Agabbio M. 2003. Physiological response of minimally processed citrus fruit to modified atmosphere. Acta Hort. 604: 789-794.
- Pérez-Gago, M.B., Rojas C., y del Río M. A. 2003. Edible coating effect on postharvest quality of mandarins cv 'Clemenules'. Acta Horticulturae 600: 91-93.

- Petracek P.D., Dou H. and Pao S. 1998. The influence of applied waxes on postharvest behavior and pitting of grape fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 14: 99-106.
- Porat R. Weiss., B. Cohen., L., Daus A., and Cohen E. 2003. Effects of intermittent warming and temperature conditioning on the postharvest quality of 'Oroblanco' citrus fruit following long-term cold storage. *Amer. Soc. Hortic. Sci.* 13:79-81.
- Porat R., Weiss B., Cohen L., Daus A., Biton A. 2005. Effects of polyethylene wax content and composition on taste, quality, and emission of off-flavor volatiles in 'Mor' mandarins. *Postharvest Biol. Technol.* 38: 262-268.
- Reforgiato G. R., Russo M.P., De Simona M., Natoli A., Marsan P.A., and Marocco A. 2000. Development of molecular maps for rootstock breeding in citrus. *Acta Hort.* 535: 33-35.
- Rivera-Cabrera F., Sotelo Rodríguez Z. G., Tinoco Páez C., y Pérez Flores L. J. 2001. Efecto del acondicionamiento con calor húmedo en el estrés oxidativo en Limón Persa (*Citrus Latifolia Tanaka*). *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha.* 4: 62-68.
- Robles-González M., Medina-Urrutia V.M. 2003. Comportamiento en postcosecha de clones de limón. Selección UACH. Memorias X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencia Hortícolas, IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Ornamental: 10:378.
- Sala J. M. and Lafuente M.T. 2000. Catalase enzyme activity is related to tolerance of mandarin fruits to chilling. *Postharvest Biol. Technol.* 20: 81-89.
- Saucedo V. C. 2005. Sistemas de manejo postcosecha de limas ácidas (limón "Persa" y limón mexicano). *Actas del II Seminario Internacional postcosecha de cítricos. Concordia entre Ríos. Argentina:* 65-69

- Saucedo V. C., Medina U. V. M., Orozco R. J. 2002. Reducción de daños por frío en frutos de Limón Mexicano mediante temperaturas de acondicionamiento, encerado y ácido giberélico. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*. 4: 107-113.
- Shewfelt R. L., y del Rosario B. A., 2000. The role of lipid peroxidation in storage disorders of fresh fruits and vegetables. *Hortscience* 35: 575-579.
- Smilanick J. L., Sorenson D., Mansour M., Aieyabei J., and Plaza P. 2003. Impact of a brief postharvest hot water drench treatment on decay, fruit appearance, and microbe populations of California lemons and oranges. *Amer. Soc. Hortic. Sci.* 13: 201-214.
- Thompson, J.E., Ledge R.L., Barber R.F. 1987. The role of free radicals in senescence and wounding. *New Phytol.* 105: 317-344.
- Undurraga P.L., Olaeta J.A., Retamales J.B., Toso A.M. 2007. Manifestación de peteca y pérdida de calidad en limones Eureka bajo diferentes condiciones de almacenamiento refrigerado. *Agrociencia* 28: 133-139.
- Wang, C.Y. 2000. Postharvest techniques for reducing low temperature injury in chilling-sensitive commodities. En: *Improving Postharvest Technologies for fruits vegetables and ornamentals*. Edit Intern. Institute of Refrigeration Edits. F. Artés, M.A. Conesa II: 467-473.
- Watada, A.E. 1982. Chilling injury of horticultural crops: Introduction. *HortScience* 17(2): 160-165.
- Yong-Joon Yang., and Kyung A Lee. 2003. Postharvest quality of Satsuma mandarin fruit affected by controlled atmosphere. *Acta Hort.* 600: 775-779.