

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FISIOLOGÍA VEGETAL

RETRASO DE LA SENESCENCIA DEL FRUTO DE TRES VARIETADES DE LIMÓN MEXICANO CON BIORREGULADORES

LAURA OLIVIA ZEA HERNÁNDEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2015

La presente tesis, titulada "RETRASO DE LA SENESCENCIA DEL FRUTO DE TRES VARIEDADES DE LIMÓN MEXICANO CON BIORREGULADORES", realizada por la alumna Laura Olivia Zea Hernández, bajo dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FISIOLOGÍA-VEGETAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. NICACIO CRUZ HUERTA

ASESOR



DR. CRESCENCIANO SAUCEDO VÉLOZ

ASESOR



DR. MARTHA ELVA RAMÍREZ-GUZMÁN

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Enero de 2015

RESUMEN

RETRASO DE LA SENESCENCIA DEL FRUTO DE TRES VARIEDADES DE LIMÓN MEXICANO CON BIORREGULADORES

Laura Olivia Zea Hernández, MC.

Colegio de Postgraduados, 2015

Las pérdidas en postcosecha en frutos de limón mexicano son altas debido a su susceptibilidad a daños mecánicos, rompimiento de glándulas de aceite, pérdidas de peso y de color verde. Con la finalidad de alargar la vida de anaquel y preservar características de calidad, se evaluó el uso de bioreguladores en frutos de tres variedades de limón mexicano. Durante el crecimiento del fruto de las variedades 'Colimex', 'Lise' y 'Colimon', los frutos se asperjaron con ácido giberélico (AG3, 300 ppm), y en postcosecha, fueron recubiertos con cera comercial (14% de sólidos) o tratados con 1-metilciclopropeno (1-MCP, 500 ppm). Los frutos se almacenaron 10 días a temperatura ambiente ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$). Se midieron variables de calidad externa e interna. Se encontró que las variedades 'Colimex' y 'Lise' presentaron mayor contenido de sólidos solubles totales, menor pérdida de peso, y mayor contenido de clorofila, lo que se reflejó en mayor coloración verde, comparadas con 'Colimon'. Por otro lado, en general, la aplicación precosecha de AG3 aumentó el contenido de sólidos solubles totales, el contenido de ácido ascórbico, el contenido de clorofila, la intensidad del color verde, y redujo la pérdida de peso, pero 'Colimón' no respondió a la aplicación de AG3 para reducir la pérdida de peso. La menor pérdida de peso se atribuyó a mayor peso de cutícula, ceras intracuticulares, y cutina en los frutos tratados con AG3 comparados con los frutos no tratados, lo cual redujo la pérdida de vapor de agua a través de la cutícula. En las tres variedades el índice de color se mantuvo en los tratamientos con aplicaciones de AG3, mientras que en los tratamientos sin AG3, los frutos presentaron un índice de color más alto, que se traduce a una coloración menos verde. La aplicación de AG3 a los frutos en desarrollo de limón mexicano les permite mantener su calidad interna y externa al menos durante 10 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

Palabras clave: ácido giberélico, 1-MCP, calidad postcosecha, fisiología postcosecha.

ABSTRACT

DELAY OF THE SENESCENCE OF THE FRUIT OF THREE VARIETIES OF MEXICAN LIME WITH BIOREGULATORS

Laura Olivia Zea Hernández, MC.

Colegio de Postgraduados, 2015

Postharvest losses in Mexican lime fruits are high due to mechanical damage susceptibility, rupture of oil glands, and loss of weight and color green. With the objective of extending shelf life preserving quality characteristics, the use of bioregulators in fruits of three varieties of Mexican lime was evaluated. During fruit growth, fruits of the varieties 'Colimex', 'Lise' and 'Colimon' were sprayed with gibberellic acid (GA3, 300 ppm). After harvest, fruits were either coated with commercial wax (14% solids) or treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP, 500 ppm). Fruits were stored 10 days at room temperature (22 ± 2 °C). Parameters to determine external and internal quality were measured. 'Colimex' and 'Lise' varieties presented a greater total soluble solids content, lower fruit weight loss, and greater chlorophyll content, resulting in greener fruits, compared to 'Colimon'. On the other hand, in general, pre-harvest application of GA3 increased total soluble solids content, ascorbic acid content, chlorophyll content, and intensity of color green, and reduced fruit weight loss. However, 'Colimon' did not reduce fruit weight loss as a response to GA3 application. The smaller fruit weight loss in GA3-treated fruits was attributed to greater weight of cuticle, intracuticular waxes and cutin, compared to non-treated fruits, which reduced water vapor loss through the cuticle. In the three Mexican lime varieties, fruit color index was maintained in all treatments that included GA3 application, while in the treatments without GA3, fruits presented a higher color index, which indicates less green-colored fruits. Preharvest GA3 application to developing fruits of Mexican lime allows the fruit to maintain their internal and external quality at least during 10 days of storage at ambient temperature.

Key Words: gibberellic acid, 1-MCP, postharvest quality, postharvest physiology.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de maestría.

Al **Colegio de Postgraduados**, por facilitar el uso de las instalaciones y el aprendizaje recibido por parte de los profesores.

Al **Dr. Nicacio Cruz Huerta**, por sus aportaciones y disponibilidad para la culminación de este trabajo.

Al **Dr. Crescenciano Saucedo Veloz**, por la disponibilidad, sus aportaciones y sugerencias en el trabajo y en la estancia de los estudios de la maestría.

A la **Dra. Martha Elva Ramírez Guzmán**, por su paciencia, disponibilidad, aportaciones y asesoría para la culminación de este trabajo.

Al **Dr. Manuel Robles González**, por facilitar el material vegetal y por su disponibilidad en todo momento para la culminación del presente trabajo.

A mis compañeros y amigos que hicieron más grata mi estancia en la maestría.

DEDICATORIA

A mis padres a quien amo y admiro.

A mis hermanos y sobrinos quienes siempre me hacen sonreír.

*A Ximena Yescas Zea quien es mi mayor bendición, llenas mi vida
de amor y alegría.*

A Salvador Yescas por su paciencia, amor y apoyo incondicional

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos e hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Situación actual del limón.....	5
2.2. Generación de nuevas variedades	8
2.2.1. Importancia	8
2.2.2. Características de las variedades ‘Colimex’, ‘Lise’ y ‘Colimon’	9
2.3. Morfología general del fruto.....	11
2.3.1. Características del fruto cítrico	11
2.3.2. Composición química del fruto.....	12
2.3.3. Color.....	13
2.3.4. Carbohidratos.....	13
2.3.5. Ácidos orgánicos.....	13
2.4. Desarrollo y estructura de la piel	14
2.4.1. Ceras epicuticulares.....	14
2.4.2. Cutículas	15
2.4.3. Cutina	15
2.4.4. Ceras intracuticulares	16
2.5. Calidad y almacenamiento postcosecha	16
2.5.1. Problemas postcosecha.....	16
2.5.2. Pérdida de la calidad y senescencia.....	17
2.5.3. Aplicación de reguladores de crecimiento	18
2.6. Etileno.....	20
2.6.1. Importancia del etileno en postcosecha.....	20
2.6.2. Mecanismo de acción del etileno.....	20
2.7. Inhibidores de la síntesis de etileno.....	21
2.7.1. Características del 1-metilciclopropeno (1-MCP)	22
2.7.2. Efectos del 1-MCP en frutas y hortalizas.....	23
2.7.3. Factores involucrados en la respuesta del 1-MCP	23
2.7.4. Principio y modo de acción del 1-MCP	23
2.8. Ceras	25
2.8.1. Tipos de ceras.....	25
2.8.2. Problemas del encerado	26
III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Experimento 1	27
3.1.1. Material biológico	27
3.1.2. Descripción de tratamientos	27

3.2. Experimento 2	30
3.2.1. Material biológico	30
3.2.2. Descripción de tratamientos.	30
3.3. Variables evaluadas.....	32
3.3.1. Sólidos solubles totales (%).....	32
3.3.2. Acidez titulable (% ácido cítrico)	32
3.3.3. Ácido ascórbico.....	33
3.3.4. Color externo.....	33
3.3.5. Pérdidas de peso (%PP).....	34
3.3.6. Producción de etanol y acetaldehído.....	34
3.3.7. Extracción y cuantificación de ceras epicuticulares.....	35
3.3.8. Extracción de cutículas	36
3.3.9. Extracción y cuantificación de ceras intracuticulares	37
3.3.10. Peso de cutículas.....	38
3.3.11. Contenido de cutina	38
3.3.12. Permeabilidad de cutículas	38
3.4. Diseño experimental y análisis estadístico	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1. Experimento 1	44
4.1.1. Peso inicial del fruto	44
4.1.2. Sólidos solubles totales.....	44
4.1.3. Acidez titulable	46
4.1.4. Ácido ascórbico.....	54
4.1.5. Pérdida de peso	63
4.1.6. Índice de color	66
4.2. Experimento 2	73
4.2.1. Peso inicial del fruto	73
4.2.2. Sólidos solubles totales.....	73
4.2.3. Acidez titulable	81
4.2.4. Ácido ascórbico.....	82
4.2.5. Clorofila en la cáscara.....	88
4.2.6. Acetaldehído	92
4.2.7. Pérdida de peso	93
4.2.8. Índice de color	100
4.2.9. Ceras epicuticulares.....	108
4.2.10. Cutícula	112
4.2.11. Ceras intracuticulares	116
4.2.12. Cutina	121
4.2.13. Permeabilidad de cutículas	127
4.3. Discusión general	135
V. CONCLUSIONES.....	138
VI. LITERATURA CITADA	139

ÍNDICE DE CUADROS

No.	Título	Página
1.	Producción de limón mexicano y limón "Persa" (t) del Periodo 2009-2013.	5
2.	Producción anual de los principales estados productores de limón mexicano (t).	6
3.	Superficie cosechada de los principales estados productores de limón mexicano (ha).	6
4.	Rendimiento de limón mexicano en los principales estados (t ha-1).	7
Cuadro 5.	Descripción de tratamientos del experimento 1, en frutos de limón mexicano.	29
6.	Descripción de tratamientos del experimento 2 en frutos de limón mexicano.	31
7.	Descripción de tratamientos en frutos de dos variedades de limón mexicano.	32
8.	Porcentaje de ácido cítrico en los diferentes tratamientos de dos variedades de limón mexicano.	50
9.	Porcentaje de ácido cítrico en los diferentes tratamientos de dos variedades de limón mexicano evaluados a través de 10 días después de cosecha.	53
10.	Contenido de ácido ascórbico en los diferentes tratamientos de dos variedades de limón mexicano.	58
11.	Contenido de ácido ascórbico en los diferentes tratamientos de dos variedades de limón mexicano evaluados a través de 10 días después de cosecha.	62
12.	Índice de color en los diferentes tratamientos de dos variedades de limón mexicano evaluados a través de 10 días después de la cosecha.	70
13.	Valores P (P-value) de sólidos solubles totales, ácido cítrico, ácido ascórbico, pérdida de peso e índice de color.	71
14.	Efectos principales para sólidos solubles totales, ácido cítrico, ácido ascórbico, índice de color y pérdida de peso.	72
15.	Contenido sólidos solubles totales en los diferentes tratamientos de tres variedades de limón mexicano.	78
16.	Contenido de ácido ascórbico en los diferentes tratamientos de tres variedades de limón mexicano.	86
17.	Contenido de clorofila en los diferentes tratamientos de tres variedades de limón mexicano.	90
18.	Pérdida de peso en tratamientos de tres variedades de limón mexicano.	99
19.	Índice de color en tratamientos de tres variedades de limón mexicano.	105
20.	Valores P (P-value) de sólidos solubles totales, ácido cítrico, ácido ascórbico, clorofila, acetaldehído, pérdida de peso e índice de color.	110
21.	Efectos principales de sólidos solubles totales, ácido cítrico, ácido ascórbico, clorofila, acetaldehído, pérdida de peso e índice de color.	111

22. Peso de cutícula en tratamientos de dos variedades de limón mexicano.	115
23. Peso de ceras intracuticulares en tratamientos de dos variedades de limón mexicano.	120
24. Peso de cutina en tratamientos de dos variedades de limón mexicano.	125
25. Peso de cutina en los diferentes tratamientos de dos variedades de limón mexicano evaluados a través de 10 días después de cosecha.	127
26. Permeabilidad de cutículas aisladas de los tratamientos de dos variedades de limón mexicano.	132
27. Permeabilidad de cutículas aisladas en los diferentes tratamientos de tres variedades de limón mexicano evaluados través de 10 días después de la cosecha.	134

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Título	Página
1.	Secciones transversal (izquierda) y longitudinal (derecha) de un fruto maduro de naranjo dulce blanca común (<i>Citrus sinensis</i> L. Osb.) (Tadeo et al., 2003).....	12
2.	Selección, marcado y aspersion de AG3 en frutos de las dos variedades de limón mexicano.....	28
3.	Aplicación del encerado (emulsión comercial 14% de sólidos) a frutos de dos variedades de limón mexicano.....	29
4.	Frutos de dos variedades de limón mexicano durante la aplicación de 1-MCP.	30
5.	Extracción de ceras epicuticulares de tres variedades de limón mexicano.....	36
6.	Extracción de cutículas de tres variedades de limón mexicano.	37
7.	Extracción de ceras intracuticulares de tres variedades de limón mexicano.....	37
8.	Efecto promedio del tratamiento en el contenido de sólidos solubles totales (%) en frutos de limón mexicano de dos variedades.	46
9.	Efecto de la interacción variedad por días en el contenido de Sólidos solubles totales (%) en frutos de limón mexicano de dos variedades.....	47
10.	Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido de ácido cítrico (%) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimex'.....	48
11.	Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido de ácido cítrico (%) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.	49
12.	Efecto de la interacción variedad por días de evaluación en el contenido de ácido cítrico (%) en frutos de dos variedades de limón mexicano.	51
13.	Efecto de la interacción tratamiento por días de evaluación en el contenido de ácido cítrico (%) en frutos de limón mexicano de dos variedades.	54
14.	Efecto promedio del tratamiento en el contenido de ácido ascórbico (mg / 100 mL de jugo) en frutos de dos variedades de limón mexicano.	55
15.	Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido de ácido ascórbico (mg/100 mL de jugo) en frutos de limón mexicano de la variedad 'Colimex'.	56
16.	Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido de ácido ascórbico (mg/100 mL de jugo) en frutos de limón mexicano de la variedad 'Lise'.....	57
17.	Efecto de la interacción variedad por días de evaluación en el contenido de ácido ascórbico (mg / 100 mL de jugo) en frutos de dos variedades de limón mexicano.	59
18.	Efecto de la interacción tratamiento por días de evaluación en el contenido de ácido ascórbico (mg / 100 mL de jugo) en frutos de limón mexicano.	61
19.	Efecto del tratamiento en la pérdida de peso (%) en frutos de limón mexicano.	64

20. Efecto de la interacción tratamiento por días de evaluación en la pérdida de peso (%) en frutos de limón mexicano.....	65
21. Efecto del tratamiento en el Índice de Color (IC=1000a/bL) en frutos de tres variedades limón mexicano.	67
22. Efecto de la interacción tratamiento por días de evaluación en el Índice de Color (IC=1000 a/bL) en frutos de limón mexicano.....	69
23. Efecto promedio del tratamiento en el contenido de sólidos solubles totales (%) en frutos de limón mexicano.....	74
24. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido de sólidos solubles totales (%) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimex'.....	75
25. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido de sólidos solubles totales (%) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.....	76
26. Efecto de la interacción variedad por días de evaluación en el contenido de sólidos solubles totales (%) en frutos de tres variedades de limón mexicano.	79
27. Efecto de la interacción tratamiento por días de evaluación en el contenido de sólidos solubles totales (%) en frutos de tres variedades de limón mexicano.	80
28. Efecto del tratamiento en el contenido ácido ascórbico (mg / 100 mL de jugo) en frutos de limón mexicano.	83
29. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido ácido ascórbico (mg / 100 mL de jugo) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.....	84
30. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido ácido ascórbico (mg / 100 mL de jugo) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimon'.....	85
31. Efecto de la interacción variedad por días de evaluación en el contenido de ácido ascórbico(mg / 100 mL de jugo) en frutos de tres variedades de limón mexicano a través del tiempo de almacenamiento.	87
32. Efecto promedio del tratamiento en el contenido de clorofila (mg / 100 g) en frutos de tres variedades de limón mexicano.....	88
33. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido de clorofila (mg / 100 g) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimon'.	90
34. Efecto de la interacción tratamiento por días de evaluación en el contenido de clorofila (mg / 100 g) en frutos de limón mexicano.....	92
35. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en la pérdida de peso (%) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimex'.....	94
36. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en la pérdida de peso (%) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.	95
37. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en la pérdida de peso (%) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimon'.....	96

38. Efecto de la interacción tratamiento por días de evaluación en la pérdida de peso (%) en frutos de limón mexicano.....	98
39. Efecto del tratamiento en el índice de color (1000a/L*b) en frutos de limón mexicano.	101
40. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el índice de color (1000a/L*b) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimex'.	102
41. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el Índice de Color (1000a/L*b) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.....	103
42. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el índice de vcolor (1000a/L*b) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimon'.	104
43. Efecto de la interacción variedad por días de evaluación en el índice de color (IC= 1000a/L*b) en frutos de tres variedades de limón mexicano, análisis por 10 días simulando condiciones de comercialización (22±2°C).	107
44. Efecto promedio de la interacción tratamiento por días de evaluación en el índice de color (IC= 1000a/L*b) en frutos de tres variedades de limón mexicano, análisis por 10 días simulando condiciones de comercialización (22±2°C).....	109
45. Efecto del tratamiento en el peso de cutícula (µg/cm ²) en frutos de limón mexicano.	113
46. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el peso de ceras intracuticulares (µg / cm ²) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.	118
47. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el peso de ceras intracuticulares (µg / cm ²) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimon'.....	119
48. Efecto del tratamiento en el peso de cutina (µg /cm ²) en frutos de limón mexicano.	122
49. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el peso de cutina (µg / cm ²) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.	123
50. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el peso de cutina (µg/ cm ²) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimon'.	124
51. Efecto del tratamiento en la permeabilidad de cutículas aisladas (mg / cm ² h) en frutos de limón mexicano.	128
52. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en la permeabilidad de cutículas aisladas (mg / cm ² h) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimon'.	130
53. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en la permeabilidad de cutículas aisladas (mg / cm ² h) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'. ...	131

I. INTRODUCCIÓN

En México, la producción total de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle) en el año 2013 fue de 1,007,037 t, con un rendimiento promedio de 13 t ha⁻¹ con un valor de \$3,371,537 (SIAP, 2014).

La producción de este cultivo se basa en una variedad comercial de pie franco con producción heterogénea, con espinas y plantas bien adaptadas a las condiciones agroclimáticas de las zonas productoras de México, llamada comúnmente 'limón mexicano con espinas'. La norma NMX-FF-087-SCFI-2001 (Secretaría de Economía, 2001) establece que para su comercialización el porcentaje de jugo debe ser al menos de 45% en peso y su tamaño no debe ser menor a 31.1 mm de diámetro. Sin embargo, esta variedad produce frutos con diámetros menores a los establecidos por la norma y su manejo postcosecha es difícil, lo que resta calidad al fruto y limita su comercialización a mercados de exportación. No obstante, por su alto contenido de jugo (45% en peso) y ácido cítrico (4-5 g/100 mL) (Seymour et al., 1993), así como su excelente sabor y aroma, los consumidores nacionales prefieren el limón mexicano y lo pagan a mayor precio que otros limones como el "Persa" (Saucedo y Medina, 2008).

En el 2005 el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) describió las características agronómicas de tres variedades de limón mexicano: 'Colimex' (planta con espinas, alto rendimiento y estabilidad de la producción), 'Lise' (plantas sin espinas y frutos cosechados con menor índice de daños físicos) y "Colimon" (con espinas y sin semilla). Sin embargo, se desconoce el comportamiento postcosecha de los frutos de estas variedades (INIFAP, 2010).

Las principales causas de pérdidas en la producción y calidad de los frutos de limón mexicano en la etapa postcosecha son: pericarpio delgado, bajo contenido de ceras intra- y extracuticulares, alto contenido de idioblastos o glándulas de aceite y el tamaño pequeño (Saucedo y Medina, 2008). Lo anterior provoca que los frutos sean susceptibles a daños mecánicos (heridas, golpes, deformaciones, picaduras y rozaduras), alteraciones fisiológicas como la oleocelosis (rompimiento del extremo estilar y daños por frío), alta incidencia de pudriciones, elevadas pérdidas de peso, alta sensibilidad al marchitamiento y presencia de frutos tiernos, o con grado de madurez avanzado (amarillos).

Entre los biorreguladores actualmente registrados para su uso en la citricultura, el ácido giberélico (AG_3) es el que ha demostrado una mayor versatilidad, modificando o controlando diferentes procesos fisiológicos. Así, se ha verificado un estímulo del crecimiento vegetativo, cuando es aplicado durante el receso invernal o al inicio de la brotación (Agustí, 1986; Guardiola et al., 1980).

El uso de inhibidores de la síntesis de etileno se plantea como alternativa para retrasar los procesos de maduración y senescencia de los frutos durante la etapa de postcosecha (Azcón y Talón, 1993). El inhibidor 1-MCP bloquea los receptores del etileno, ubicados en las membranas celulares (Blankenship y Dole, 2003), donde la afinidad del receptor por el 1-MCP es mayor que la afinidad de éste por el etileno (Mitcham, 2001). Sisler y Serek (1997) mostraron que a una concentración de 0.5 nLL^{-1} de 1-MCP puede inhibir la acción de etileno al reaccionar con el receptor de este.

La aplicación de ceras en la postcosecha de cítricos es otra alternativa para mantener la calidad de los frutos y reducir las pérdidas que se producen durante esta etapa (Martínez-Jávega et al., 2000). El empleo de éstas en la superficie del fruto es común para mejorar su apariencia y reducir las pérdidas de peso (Cuquerella *et al.*, 1981; Melleting *et al.*, 1982; Martínez y Cuquerella, 1984).

1.1. Objetivos e hipótesis

Objetivo General

Determinar la relación entre el tratamiento con biorreguladores con y sin efecto fitohormonal (AG3, y 1-MCP) y los cambios en el contenido de ceras intra y extra cuticulares, permeabilidad de la cutícula, evolución de la senescencia y sensibilidad a desórdenes fisiológicos en el fruto de dos variedades de limón mexicano ('Colimon' y 'Lise').

Objetivos particulares

1.-Evaluar el uso de biorreguladores (AG3 y 1-MCP) en los frutos de 'Colimex', 'Lise' y 'Colimon'.

2.- Determinar la evolución del contenido de ceras intra y extra cuticulares y permeabilidad de membranas durante el almacenamiento postcosecha del fruto de las tres variedades de limón mexicano.

Hipótesis

Las variedades `Colimex`, `Lise` y `Colimon` presentan características de calidad similares.

Los tratamientos con aplicación de AG3 muestran características externas e internas iguales a aquellos que no fueron tratados con esta.

La fruta de las variedades `Colimon` y `Lise`, desarrolla diferente tipo y contenido de ceras intra y extra cuticulares, pero presentan permeabilidad y pérdida de humedad similares.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Situación actual del limón

A nivel nacional en el 2013, se produjeron aproximadamente 1,007,037 t de limón mexicano, con un rendimiento promedio de 13.32 t ha⁻¹ (SIAP, 2014), mientras que; el limón “Persa” produjo para el mismo año 1,006,193 t con un rendimiento promedio de 14.41 t ha⁻¹, no obstante, por su alto contenido de jugo y ácido cítrico, así como excelente sabor y aroma, en el mercado nacional el limón mexicano, respecto al limón “Persa”, presenta una mayor preferencia por parte de los consumidores, además de comercializarse a mayor precio.

Cuadro 1. Producción de limón mexicano y limón “Persa” (t) del Periodo 2009-2013.

Cultivo/Tipo	Año				
	2009	2010	2011	2012	2013
Limón mexicano	1,057,850	1,039,056	1,192,317	1,041,349	1,007,037
Limón persa	823,220	766,831	862,227	920,084	1,006,193
Total	1,881,070	1,805,887	2,054,544	1,961,433	2,013,230

Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2014).

Los principales estados productores de limón mexicano son: Colima, Michoacán, Oaxaca y Guerrero. En el Cuadro 2 se observa que el principal productor de limón mexicano en los últimos cinco años ha sido Michoacán.

De igual manera Michoacán presentó un incremento de la superficie cosechada en el periodo 2009-2013 (Cuadro 3), mientras que Colima, tuvo una superficie cosechada

variable en el mismo periodo. Oaxaca disminuyó la superficie cosechada en 2012 y 2013; y Guerrero mantuvo una superficie cosechada constante en los últimos cinco años.

Cuadro 2. Producción anual de los principales estados productores de limón mexicano (t).

Estado	Año				
	2009	2010	2011	2012	2013
Colima	402,125	362,701	472,875	342,360	262,730
Michoacán	414,502	432,183	463,390	473,606	516,541
Oaxaca	109,880	114,761	114,138	93,328	82,340
Guerrero	78,387	77,843	70,621	74,869	73,661

Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2014).

Cuadro 3. Superficie cosechada de los principales estados productores de limón mexicano (ha).

Estado	Año				
	2009	2010	2011	2012	2013
Colima	19,197	20,307	19,784	18,702	18,273
Michoacán	35,855	36,105	37,841	38,254	38,886
Oaxaca	10,285	103,756	10,266	8,244	6,425
Guerrero	6,859	6,845	6,850	6,852	6,813

Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2014).

El mayor rendimiento de limón mexicano por hectárea en los últimos cinco años, se encuentra en el estado de Colima, seguido de Michoacán, Oaxaca y Guerrero, sin embargo, el rendimiento en Colima ha ido en descenso (31%), en tanto que en Michoacán ha aumentado en 15% (Cuadro 4).

Cuadro 4. Rendimiento de limón mexicano en los principales estados (t ha⁻¹).

Estado	Año				
	2009	2010	2011	2012	2013
Colima	20.95	17.86	23.9	18.31	14.38
Michoacán	11.56	11.97	12.25	12.38	13.28
Oaxaca	10.68	11.06	11.12	11.32	12.82
Guerrero	11.43	11.37	10.31	10.93	10.81

Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2014).

Los factores que hoy influyen en la producción del limón mexicano son:

1.- La estacionalidad. Cada año se da una ventana natural de menor producción de limón entre los meses de diciembre y marzo.

2.- Afectación por lluvias tardías. Los productores de los principales estados reportaron lluvias en sus huertas en los meses de noviembre y diciembre en el año 2013, lo que tuvo repercusiones en la floración y caída de frutos. El retraso en la maduración provocó que se postergue la disponibilidad del producto.

3.- Fitosanidad. Las lluvias tardías causan antracnosis, la cual reduce temporalmente el rendimiento de la producción.

Respecto al Huanglongbing (HLB), enfermedad que ataca a los cítricos, se tiene registro de daño en la producción de Colima, aunque por sí sola, esta enfermedad, actualmente, resulta poco relevante en la composición de la oferta nacional.

2.2. Generación de nuevas variedades

2.2.1. Importancia

La mayoría de variedades de limas y limones presentan el fenómeno conocido como apomixis o poliembrionía y producen varios embriones en cada semilla. La embrionía nucelar, junto con heterocigocidad, esterilidad, incompatibilidad y largo período juvenil, han dificultado el mejoramiento genético mediante la hibridación sexual convencional en la mayoría de los cítricos (Kochba y Spiegel-Roy, 1977, Aliza - Vardi, 1981, Ikeda, 1981) (Vardi *et al.*, 1996) y esto ha impedido que los fitomejoradores utilicen las fuentes de variación existentes para incorporar genes de resistencia que pueden estar presentes en los géneros cercanos a los cítricos (Rocha-Peña *et al.*, 1995). Por lo tanto, el mejoramiento de variedades se ha tenido que intentar por métodos alternativos como: la colecta y evaluación de la variación genética ocurrida de forma natural, mutaciones inducidas y en los últimos años se están empleando herramientas biotecnológicas para el rescate de embriones cigóticos inmaduros para lograr los híbridos sexuales. También se han logrado avances en nuevas metodologías derivadas de la Biotecnología, como la hibridación somática y la ingeniería genética.

La variedad comercial de limón mexicano, aunque genera buenos rendimientos y excelente calidad química, presenta varios inconvenientes entre los que destaca la pérdida de calidad física debido entre otras cosas a ralladuras y piquetes de espinas,

lo cual propicia que sólo un 50% de fruta sea apta para el empaque. Además tiene reducida vida en postcosecha lo que afecta su comercialización a mercados de exportación.

2.2.2. Características de las variedades ‘Colimex’, ‘Lise’ y ‘Colimon’

‘Colimex’

La variedad ‘Colimex’ es una selección clonal realizada en el INIFAP a partir de la variedad comercial conocida como mexicano con espinas. Los árboles de esta variedad tienen las mismas características morfológicas de la variedad comercial. La fruta, mantiene las características de forma, tamaño, sabor y la alta calidad química, característicos del limón mexicano. La principal diferencia y ventaja principal es su alto rendimiento y consistente que dependiendo de la densidad de plantación llega a las 40 t ha⁻¹ por año (Robles-González *et al.*, 2010).

La variedad ‘Colimex’ tiene el mismo rango de adaptación que la variedad comercial, la cual se cultiva exitosamente en Colima, Michoacán, Oaxaca y Guerrero. Esta nueva variedad es una buena opción para los todos productores debido a su buena adaptación a las condiciones agroecológicas de los principales estados productores de este cítrico y por su alto potencial de rendimiento de fruta de excelente calidad (Robles-González *et al.*, 2010).

‘Lise’

La variedad ‘Lise’ es una variación genética natural originada de la variedad comercial. Se caracteriza porque las ramas de sus árboles carecen de espinas y además presentan cambios en la forma de las hojas y flores. A la cosecha, la fruta tiene un color verde oscuro y está prácticamente libre de daños físicos, lo que le da mejor presentación y en consecuencia se obtiene hasta un 70% fruta empacable (Robles-González *et al.*, 2010).

La variedad ‘Lise’ tiene el mismo rango de adaptación que la variedad comercial, la cual se cultiva exitosamente en Colima, Michoacán, Oaxaca y Guerrero. Esta nueva variedad es una buena opción para los productores de limón mexicano organizados en los denominados ‘grupos de proveedores de calidad’ de los estados de Colima y Michoacán principalmente. Su fruta puede tener buena aceptación en mercados tanto locales como para exportación ya que la calidad interna es la misma que la actual variedad comercial (Robles-González *et al.*, 2010).

Esta variedad tiene el potencial de aumentar la proporción de fruta empacable debido a su mejor apariencia y ausencia de raspadas o piquetes de espinas. Además al tener mejor comportamiento en postcosecha, se puede comercializar a mayores distancias y por lo tanto incrementar el volumen de exportación. Lo que beneficia a toda la cadena de producción (Robles-González *et al.*, 2010).

‘Colimon’

Los árboles son muy similares a los de la variedad ‘Colimex’, su follaje es denso y con espinas pequeñas y puntiagudas en las hojas. Florece todo el año principalmente de diciembre a abril. El fruto es pequeño y de forma elíptico a semiesférico, de cáscara delgada, coriácea, de color verde claro, pulpa jugosa y muy ácida y prácticamente sin semillas, presentando a veces una semilla (Robles-González *et al.*, 2010).

2.3. Morfología general del fruto

2.3.1. Características del fruto cítrico

El fruto de los cítricos es una baya denominada *hesperidio*. Surge como consecuencia del crecimiento del ovario y está formado por, aproximadamente, diez unidades carpelares unidas alrededor del eje floral por el que contactan entre sí, formando así los lóculos en cuyo interior crecen las semillas y los sacos de zumo (Agustí, 2003).

El exocarpo o flavedo, es la región más externa, constituye la parte visible de la corteza, formada por células epidérmicas de color verde cuando el fruto es inmaduro y naranja o amarillo, según la especie, en la madurez (Agustí *et al.*, 2003).

El mesocarpo está situado en el interior de la corteza, ocupando una posición intermedia del pericarpo y, en la mayor parte de los frutos cítricos, es de color blanco, del que toma el nombre de albedo (Agustí, 2003).

Una serie de segmentos triangulares en forma de luna, se encuentran alrededor del centro de la fruta cítrica, los cuales constituyen los gajos rodeados por una membrana llamada endocarpio, que permite que un gajo se pueda separar de los demás. Internamente cada gajo consta de dos partes: el jugo o pulpa, y las semillas (Wardowski *et al.*, 1986).

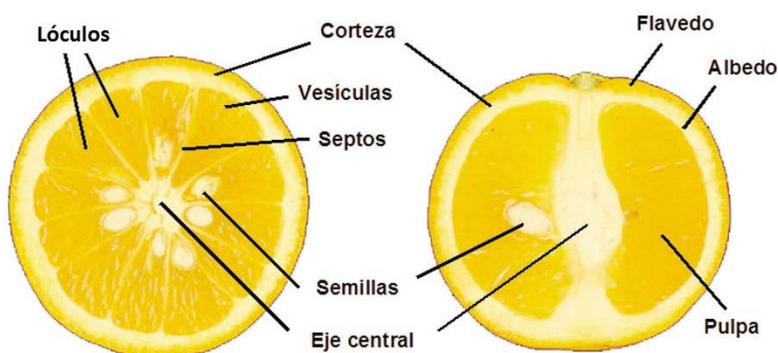


Figura 1. Secciones transversal (izquierda) y longitudinal (derecha) de un fruto maduro de naranjo dulce blanca común (*Citrus sinensis* L. Osb.) (Tadeo *et al.*, 2003).

2.3.2. Composición química del fruto

La composición química en los frutos cítricos, varía de acuerdo al cultivar, clima, injertos, prácticas culturales, etc. La mayoría de los cítricos, al igual que otros frutos, están constituidos principalmente de agua, pero también pueden contener más de 400 compuestos incluyendo niveles moderados de carbohidratos, ácidos orgánicos, aminoácidos, ácido ascórbico, minerales y pequeñas cantidades de flavonoides, carotenoides, volátiles y lípidos (Davies y Albrigo, 1994).

2.3.3. Color

El color de la piel de los frutos cítricos es debido a la existencia de varios pigmentos en el flavedo del mismo, principalmente clorofilas de color verde, y de carotenoides de tonalidades que varían desde el amarillo pálido al rojo intenso dependiendo de su composición química y concentración. El proceso de cambio de color en los frutos cítricos, implica una serie de reacciones bioquímicas que están principalmente relacionados con estos dos tipos de pigmentos, en el proceso de degradación de la clorofila, y la síntesis de carotenoides, estos procesos se producen de forma independiente y son controlados por diferentes sistemas enzimáticos (Salvador, 1995).

2.3.4. Carbohidratos

Los principales carbohidratos incluyen monosacáridos como la glucosa y fructosa; oligosacáridos como la sucrosa; y polisacáridos como las pectinas (Davies y Albrigo, 1994).

2.3.5. Ácidos orgánicos

La acidez titulable en todos los jugos provenientes de cítricos se deben en mayor medida a la presencia de ácido cítrico (Ting y Attaway, 1980). El ácido cítrico es el principal ácido orgánico (70-90% del total) seguido el ácido málico y ácido oxálico y con menores cantidades de succínico, malónico, quínico, láctico, tartárico y otros ácidos relacionados (Davies y Albrigo, 1994).

2.4. Desarrollo y estructura de la piel

La piel de los cítricos consiste de una capa externa coloreada, flavedo, que contiene las glándulas de aceite, los estomas y las células epidérmicas recubiertas por la cutícula. La capa interna de color blanco, albedo, contiene el sistema vascular primario del fruto, el cual es rico en constituyentes pécticos que se degradan durante la maduración originando su ablandamiento. La capa epidermal externa es la principal responsable de la síntesis de los elementos que componen tanto la cutícula, como las ceras cuticulares que se acumulan en la parte interna (intracuticulares) y externa (epicuticulares) (Albrigo, 1986).

2.4.1. Ceras epicuticulares

Las ceras epicuticulares constituyen la primera barrera externa de la superficie de un fruto y está constituida por una acumulación de compuestos alifáticos de cadena larga, principalmente alcanos, ácidos grasos, alcoholes grasos, aldehídos, ésteres y compuestos relacionados (El-Otmani y Coggins, 1985 a y b; El-Otmani et al., 1989).

Entre las funciones fisiológicas se encuentran: reducción en la transpiración y mantenimiento del balance de agua, regulación en el intercambio de gases, protección contra patógenos, daños mecánicos, radiación ultravioleta, contaminantes atmosféricos y resistencia a heladas (Albrigo, 1972 a y b).

Estas ceras se acumulan rápidamente durante el crecimiento de la superficie del fruto. La cantidad de cera depositada en la superficie difiere entre cultivares, condiciones ambientales y prácticas culturales (El-Otmani y Coggins, 1985 a y b).

En los cítricos, las ceras se disponen como laminillas aplanadas que se hacen duras y quebradizas durante el desarrollo del fruto. En estados más avanzados se rompen formando agregados más pequeños, que son menos efectivos contra la pérdida de agua (Albrigo, 1986).

2.4.2. Cutículas

La cutícula tiene como función reducir la pérdida de agua, ya que actúa como una eficaz barrera hidrofóbica protectora para minimizar la pérdida de agua por evapotranspiración y también la pérdida de otros gases (CO_2 , O_2), y de esta forma permite que los estomas puedan regular este proceso (Jeffree, 2006; Riederer, 2006; Panikashvili et al., 2007). Sin embargo, no está plenamente establecido la delimitación de la misma ya que en forma lenta el agua traspasa la cutícula y del mismo modo la atraviesan en sentido contrario las sustancias solubles que en ellas se depositan (Lallana et al., 2006), por lo tanto es permeable tanto a compuestos polares como no polares, donde las ceras cumplen un papel clave en la reducción de la permeabilidad al agua (Tafolla et al., 2013).

2.4.3. Cutina

El principal componente de la cutícula es la cutina, que constituye una proporción que varía desde 40 a 80% del peso, según la especie (Domínguez et al., 2011; Yeats et al., 2012). Debido a los enlaces covalentes entre sus monómeros, la cutina resiste daños mecánicos y forma la estructura básica de la cutícula (Stark y Tian, 2006; Samuels et al., 2008).

El contenido de cutina en las distintas especies de cítricos varía con el grosor de la cutícula (Baker y Procopiou, 1975). Al mismo tiempo, la composición de la capa de cutina también puede variar en los distintos cultivares (Freeman y col, 1979).

2.4.4. Ceras intracuticulares

Las ceras intracuticulares, o lípidos solubles cuticulares, están embebidos en la matriz de la cutina recubriendo la superficie externa de la cutícula de las plantas. Estas ceras contribuyen al balance de la difusión y transporte de agua y solutos. Están formadas por una serie de compuestos con características químicas comunes: son altamente no-polares, tienen largas cadenas alifáticas y altos puntos de fusión. Su concentración y composición varía de acuerdo a la especie y el desarrollo de los órganos. La principal función que se le ha asignado, es limitar la pérdida de agua por la cutícula (Riederer, 2006; Domínguez et al., 2011).

2.5. Calidad y almacenamiento postcosecha

2.5.1. Problemas postcosecha

Fisiológicamente, los frutos cítricos como el limón mexicano presentan un comportamiento no climatérico (Goldschmidt, 1997), por lo que su maduración puede ocurrir en el árbol (Monselise, 1986), sin presentar cambios significativos en la velocidad de respiración y en la producción de etileno. Para este caso, la inducción de la actividad enzimática asociada con los cambios en color, sabor, textura y síntesis de aromas, parecen no estar coordinadas por la producción de etileno, sino con la

disminución de los inhibidores de la maduración, tales como las auxinas, giberelinas y citocininas (Goldschmidt et al., 1977; Ben-Yehoshua et al., 1995).

Como todos los cítricos, las limas ácidas una vez cosechadas, experimentan un metabolismo relacionado con el fenómeno de senescencia, caracterizado por pérdidas en la clorofila, elevada transpiración que conduce el marchitamiento y endurecimiento de la piel, reacciones de fermentación (producción de etanol), pérdidas de valor nutricional (principalmente vitamina C) e incremento del ataque de microorganismos causantes de pudriciones (Kader, 2002). La velocidad de reacción de los procesos metabólicos, que llevan a la pérdida de calidad se duplica por cada 10°C de aumento de la temperatura y en un rango de 0 a 10°C puede llegar a sextuplicarse (Martínez, 1999).

2.5.2. Pérdida de la calidad y senescencia

La evolución de la senescencia en cítricos es acelerada por diversos factores tales 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) (Cuquerella et al, 1988).

2.5.3. Aplicación de reguladores de crecimiento

Existen técnicas postcosecha que han sido aplicadas para mantener la calidad y extender la vida postcosecha de los frutos de limón mexicano, sin embargo, sólo se va abordar la aplicación de biorreguladores.

La eficiencia de la aplicación exógena de giberelinas, auxinas y citocininas, en frutos de limón mexicano; se centran en retardar pérdidas de color verde (Saucedo *et al.* 2002). Específicamente 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 aquellos que han sido cosechados (Medina *et al.*, 2001).

Los reguladores de desarrollo o biorreguladores, definidos como una clase de compuestos orgánicos, naturales o sintéticos que aplicados a plantas u órganos de plantas regulan el crecimiento y el desarrollo (Petracek *et al.*, 2003).

Entre los biorreguladores actualmente registrados para su uso en la citricultura, el ácido giberélico (AG₃) es el que ha demostrado una mayor versatilidad, modificando o controlando diferentes procesos fisiológicos. Así, se ha verificado un estímulo del crecimiento vegetativo, cuando es aplicado durante el receso invernal o al inicio de la brotación (Agustí, 1986; Guardiola *et al.*, 1980).

El retraso de la maduración externa y el control de desórdenes fisiológicos de la piel como 'creasing' (Bower, 2000), 'splitting' o rajado estilar (Almela *et al.*, 1994) y el bufado (Agustí *et al.*, 1981; García-Luis *et al.*, 1985), son otros de los efectos reportados de la aplicación del AG₃.

La aplicación de AG₃, antes de que el fruto cambie de color, retrasa la degradación de las clorofilas y la acumulación de carotenoides en su corteza. Este efecto se halla asociado a un retardo de la senescencia, lo que permite retrasar la recolección del fruto sin pérdidas apreciables de su calidad. La adición de compuestos nitrogenados estimula la acción del ácido giberélico (Coggins, 1986; iglesias et. al., 2001).

Goldschmidt y Galili (1974) mencionan que la regulación de la senescencia en frutos no climatéricos, como los cítricos, que se caracterizan por producir bajas cantidades de etileno durante su maduración podría llevarse a cabo mediante la interacción y antagonismo entre los niveles de ácido giberélico, benciladenina, ácido abscísico y el etileno en la cáscara del fruto.

De acuerdo con Álvarez *et al.* (2010), tres aplicaciones de AG₃ (10 mg L⁻¹) en precosecha y aplicación de cera en postcosecha prolonga el almacenamiento de los frutos de limón mexicano, al mantener en mayor proporción los niveles de ácido cítrico (8.14%) y de sólidos solubles totales (7.46%), reducir las pérdidas de agua (11.5%) y la evolución del color de la cáscara (-8.2) durante 35 d en condiciones de refrigeración y a una temperatura de 9 °C, más un periodo de 7 días a 20 °C.

Alvarez-Armenta *et al.* (2008) reportaron que la aspersion en precosecha a frutos de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle) con 10 ppm de AG₃ más 15 ppm de benciladenina (BA) y 20 ppm de AG₃ más 15 ppm de benciladenina comparado con el testigo, tuvieron mayor efecto en el retraso de la senescencia de los frutos ya que mantuvieron por mayor tiempo el color verde de la cáscara, redujeron la evolución de la

pérdida de peso, ácido ascórbico y acidez durante el almacenamiento, bajo condiciones de refrigeración (9 ± 1 °C) como de comercialización (20 ± 2 °C).

2.6. Etileno

2.6.1. Importancia del etileno en postcosecha

El etileno es la principal hormona de maduración y senescencia producida por los frutos. La tasa de producción de etileno depende de factores tales como: cultivar, grado de madurez, temperatura, niveles de O_2 y CO_2 , tratamiento con etileno, la exposición del producto a otros hidrocarburos y distintos tipos de estrés (Toledo, 1991).

Los frutos cítricos se clasifican por su modelo de respiración y su producción y sensibilidad al etileno en no climatéricos. La adición de etileno exógeno a frutos climatéricos induce la producción autocatalítica de etileno endógeno que lleva irreversiblemente a la crisis respiratoria y a los cambios bioquímicos de la maduración organoléptica. En frutos no climatéricos el etileno exógeno estimula la respiración y acelera los cambios de pigmentación de la piel pero al poco tiempo de suprimir el aporte de gas ambos procesos vuelven a sus niveles iniciales (Martínez-Jávega, 1990).

2.6.2. Mecanismo de acción del etileno

El modelo favorecido por el cual el etileno induce tan amplia variedad de efectos es: el etileno se une a una proteína, denominada el sitio de unión, estimulando así la liberación de un denominado segundo mensajero que instruye al ADN para formar moléculas de ARNm específicos para los efectos del etileno. Estas moléculas son

“traducidas” en proteínas por los polisomas y las proteínas así formadas las enzimas que causan las respuestas del etileno (Kader, 2011).

El receptor del etileno se denomina ETR1; en *Arabidopsis thaliana* es un dímero de 2 proteínas integrales de membrana, con actividad histidina kinasa y capacidad autofosforilante. La unión del etileno a su receptor induce su autofosforilación a nivel de residuos de histidina y luego transferencia de estos fosfatos hacia residuos de aspartato. El receptor así activado inicia una cascada de señalizaciones hacia otras proteínas efectoras (cascada del tipo MAP Kinasa, con destino final a nivel de ADN) (Quiroga et al., 2008).

La unión del etileno al receptor da como resultado la inactivación de un regulador negativo CTR 1 (que se hallaba inhibiendo a la proteína transmembrana EIN 2) por lo que la proteína EIN 2 cobra actividad, funcionando como un canal de iones (probablemente iones de Ca^{+2}), lo que se traduce en una posterior activación del factor de transcripción EIN 3, que actúa a nivel genómico induciendo la expresión genética de proteínas efectoras (Quiroga et al., 2008).

2.7. Inhibidores de la síntesis de etileno

Algunos inhibidores de la síntesis de etileno son: el AVG (aminoetoxivinilglicina) y el AOA (ácido aminooxiacético) que bloquean la conversión de AdoMet a ACC, el ión Co^{+2} bloquea la ACC-oxidasa (Jordán y Casaretto, 2006).

Los iones plata (Ag^{+}) aplicados como nitrato de plata (AgNO_3) o como tiosulfato de plata ($\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$) son potentes inhibidores de la acción del etileno. La plata es muy

específica; la inhibición que produce no puede ser inducida por ningún otro ion metálico (Taiz y Zeiger, 2006).

Por otra parte, el dióxido de carbono a altas concentraciones (5 al 10%) inhibe muchos de los efectos del etileno, como la inducción de la maduración del fruto. Este efecto del CO₂ a elevadas concentraciones se ha explotado en el almacenamiento de frutos para retrasar la maduración. (Taiz y Zeiger, 2006)(Taiz y Zeiger, 2006).

Otros ejemplos son compuestos volátiles como el 1-metilciclopropeno (1-MCP) que compiten por el sitio del receptor de etileno, anulando igualmente su acción en forma inespecífica y no bien determinada; (Jordán y Casaretto, 2006).

2.7.1. Características del 1-metilciclopropeno (1-MCP)

El 1-MCP ha manifestado una potente actividad como inhibidor de la acción del etileno como su capacidad de mantener la calidad general en postcosecha de muchos productos vegetales. El 1-MCP está clasificado por la Agencia de Protección de Medio Ambiente Estados Unidos como regulador de crecimiento, con un modo de acción inocuo para el ser humano.

Los primeros trabajos y el desarrollo comercial del producto se realizaron en flores demostrando su efecto al retrasar la senescencia natural. El producto se ha comercializado bajo el nombre de "Ethylblock" para flores y "Smartfresh" para frutos y hortalizas. En ambos casos, el tratamiento se basa en una aplicación gaseosa del producto en una cámara cerrada. (Guillén *et al.*, 2007).

2.7.2. Efectos del 1-MCP en frutas y hortalizas

El efecto general del 1-MCP en los productos hortofrutícolas es el retrasar la maduración de éstos. Sin embargo, la acción buscada de este compuesto sobre productos no climatéricos, cuya maduración o senescencia no está influenciada por el etileno, sería el retraso de la senescencia (Gullén, 2009).

2.7.3. Factores involucrados en la respuesta del 1-MCP

Existen diferentes variables que pueden influir considerablemente en el efecto del 1-MCP, de las cuales destacan: la temperatura, dosis, duración del tratamiento, estado de madurez del fruto, forma de recolección y el tiempo transcurrido entre recolección y el tratamiento (Jin, 2006).

Estudios revelan que el 1-MCP ha sido aplicado a temperaturas que van desde 1 a 25°C. En brócoli produjo mejores resultados a 20°C que a 5°C, pero se dió efecto inhibidor de etileno exógeno en ambos casos (Ku y Wills, 1999).

En el caso del tomate se ha indicado que la aplicación múltiple resulta más efectiva que la aplicación simple (Mir *et al.*, 2004). Sin embargo, las aplicaciones múltiples de 1-MCP a brócoli no surtieron más efecto que una sola aplicación (Able *et al.*, 2002).

2.7.4. Principio y modo de acción del 1-MCP

En condiciones de temperatura y presión estándares el 1-MCP es un gas con un peso molecular de 54 cuya fórmula es C₄H₆ y se ha demostrado que ocupa los receptores del etileno, de forma que el etileno no se puede unir ni producir su acción. Sisler y

Serek (1997) propusieron un modelo de cómo el 1-MCP reacciona con el receptor del etileno, y es, que la afinidad del 1-MCP por el receptor del etileno es aproximadamente 10 veces mayor que la que posee el propio etileno.

El etileno al unirse a un receptor, induce una serie de acciones que producen una respuesta biológica en los frutos. El 1-MCP, que es un antagonista, se une a ese receptor, evitando los efectos del etileno interno y externo. El etileno tarda en desasociarse de los receptores unos pocos minutos; mientras que el 1-MCP lo hace en varias horas o hasta días. Sin embargo, luego de un cierto periodo los tejidos vuelven a ser sensibles al etileno.

El 1-MCP reduce la pérdida de firmeza, acidez y color verde; disminuye la producción de etileno y la respiración. Los estudios de sobre los efectos que tiene el 1-MCP incluyen productos como flores (Sisler et al., 1997), manzanas, peras, bananas, naranjas, ciruelas, duraznos, nectarines, frutos tropicales, frutillas, brócoli, tomates y otras hortalizas (Sisler and Serek, 1997; Abdi *et al.*, 1998; Golding et al., 1998; Fan *et al.*, 1999; Ku et al., 1999; Porat *et al.*, 1999; Zóffoli *et al.*, 2000).

Las moléculas de 1-MCP se ligan a los receptores de etileno. El 1-MCP hace que no se abran los receptores de etileno para que no se envíe el mensaje. El 1-MCP no suelta los receptores y el etileno es incapaz de enlazarse. En el futuro se pueden formar nuevos receptores y recobrar la sensibilidad al etileno.

2.8. Ceras

El encerado es una técnica de conservación frutícola muy utilizada por comerciantes, supermercados y exportadores a escala mundial. Consiste en la construcción de una barrera de protección entre el producto y el ambiente para evitar que respire menos o se desgaste más rápido (2002Agro, 2002).

La composición del recubrimiento influye sobre la fisiología del fruto, modificando la permeabilidad al vapor de agua y a los gases de respiración O₂ y CO₂ y pudiendo afectar al aroma y sabor del fruto (Baldwin et al., 1995; Cuquerella et al., 1988; Hagenmaier y Baker, 1994; Martínez-Jávega et al., 2001).

2.8.1. Tipos de ceras

Normalmente se utilizan emulsiones acuosas de ceras vegetales, animales, minerales o sintéticas a las que se añaden soluciones de resina como goma-laca (Sierra, 2003). El porcentaje total de sólidos solubles de las resinas no debe exceder del 18%, si el fruto va ser comercializado inmediatamente, o del 10% si va ser conservado a baja temperatura, en todo caso, cuando es superior al 8% existe la posibilidad de aparición de alteraciones fisiológicas y malos sabores derivados de una fermentación alcohólica (Agustí, 2003). Los aditivos alimentarios que pueden utilizarse para cubrir frutos cítricos son: ceras de abeja blanca y amarilla, cera de candelilla, cera de carnauba, entre otras (Sierra, 2003).

2.8.2. Problemas del encerado

La permeabilidad de las ceras afecta la calidad de los frutos incrementando el desarrollo de malos sabores en muchos cítricos (Cohen et al., 1990; Mannheim y Soffer, 1996; Hagenmaier, 2000, 2002; Hagenmaier y Shaw, 2002). Los recubrimientos céreos en cítricos para comercialización directa se aplican en concentraciones de sólidos totales no superiores al 18% (Monterde et al., 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Experimento 1

3.1.1. Material biológico

Se utilizaron frutos de dos variedades de limón mexicano: 'Colimex' y 'Lise' generadas por el INIFAP en Tecomán, Colima. Esta localidad se localiza a 40 msnm; el clima es cálido, subhúmedo con lluvias en verano, y semiseco muy cálido; la temperatura promedio es de 25° C y la precipitación pluvial total anual promedio varía de 798.7 a 940 mm.

3.1.2. Descripción de tratamientos

En el año 2012, se seleccionaron y marcaron 9 árboles de las variedades 'Colimex' y 'Lise'. En cada variedad se formaron grupos de 3 árboles cada uno. Los frutos del grupo 1 se asperjaron con 300 ppm de AG₃, usando el compuesto Activol® 40% GS (ácido giberélico 1g. i. a. contenido neto 2.5 g de la empresa Valent Biosciences) en dos ocasiones, a los 2 y 3 cm de diámetro ecuatorial (16 y 29 de abril). Los del grupo 2 se asperjaron una sola vez (29 de abril), cuando alcanzaron 3 cm de diámetro ecuatorial. Los frutos del grupo 3 no tuvieron aplicación precosecha. Una vez que los frutos alcanzaron 4 cm de diámetro ecuatorial, se cosecharon 825 frutos de cada variedad y un lapso no mayor a 24 horas se trasladaron al sitio donde fueron analizados. De cada variedad se formaron 5 tratamientos con 165 frutos cada uno (Cuadro 5).

Las aplicaciones postcosecha consistieron en la aplicación de emulsión de cera y 1-MCP. Para el encerado se utilizó una emulsión comercial con 14% de sólidos, los frutos se asperjaron y dejaron secar al ambiente. Para el 1-MCP, los frutos se colocaron en un recipiente hermético con volumen de 0.125 m³ a 20°C, posteriormente en 178 mL de agua a 40°C, se disolvió 3.50 gramos del compuesto SmartFresh® (14% 1-MCP), estableciendo una dosis de 500 ppm de 1-MCP. Esta solución se colocó estratégicamente dentro del recipiente, finalmente el contenedor fue cerrado y se mantuvo así por un periodo de 8 horas.



Figura 2. Selección, marcado y aspersion de AG₃ en frutos de las dos variedades de limón mexicano.

Los tratamientos se almacenaron a 22±2°C y 50-60% de humedad relativa, por un período de 10 días para simular condiciones de comercialización. Las evaluaciones realizadas fueron: inicial, 5 y 10 días.

Cuadro 5. Descripción de tratamientos del experimento 1, en frutos de limón mexicano.

Tratamiento	Descripción ^z	Nomenclatura
1	Una aplicación de AG3 más cera	1AG ₃ + cera
2	Dos aplicaciones de AG3 más 1-cera	2AG ₃ + cera
3	Una aplicación de AG3 más 1-MCP	1AG ₃ + 1-MCP
4	Dos aplicaciones de AG3 más 1-MCP	2AG ₃ + 1-MCP
5	Testigo	Testigo

^z Aplicación precosecha de 300 ppm de ácido giberélico en una (1AG₃) o dos ocasiones (2AG₃) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.



Figura 3. Aplicación del encerado (emulsión comercial 14% de sólidos) a frutos de dos variedades de limón mexicano.



Figura 4. Frutos de dos variedades de limón mexicano durante la aplicación de 1-MCP.

3.2. Experimento 2

3.2.1. Material biológico

Se seleccionaron y marcaron 12 árboles de las variedades ('Colimex' 'Lise' y 'Colimon').

3.2.2. Descripción de tratamientos.

Se agruparon en 4 lotes de tres árboles cada uno. Los frutos del lote 1 se asperjaron con 300 ppm de AG_3 , utilizando el compuesto Activol® 40% GS (ácido giberélico 1g. i. a. Contenido neto 2.5 g, Valent Biosciences) en dos ocasiones, a los 2 y 3 cm de diámetro ecuatorial (31 de mayo y 7 de junio). Los frutos del lote 2 se asperjaron una sola vez (7 de junio) cuando éstos alcanzaron 3 cm de diámetro ecuatorial, a los del lote 3 y 4 no se les aplicó tratamiento precosecha, así que se reservaron para los tratamientos postcosecha; una vez que alcanzaron los 4 cm de diámetro ecuatorial se cosecharon 595 frutos de la variedad 'Colimex' y 799 de la variedad 'Lise' y 'Colimon' (10 de junio) y en un lapso no mayor a 24 horas se trasladaron al Laboratorio de

Postcosecha del Colegio de Postgraduados donde fueron estudiados. En cada variedad se formaron 7 tratamientos y se destinaron 85 frutos para cada uno. La combinación final de los tratamientos de cada variedad se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Descripción de tratamientos del experimento 2 en frutos de limón mexicano.

Tratamiento	Descripción ^z	Nomenclatura
1	Una aplicación de AG3 más cera	1AG3 + cera
2	Dos aplicaciones de AG3 más cera	2AG3 + cera
3	Una aplicación de AG3 más 1-MCP	1AG3 + 1-MCP
4	Dos aplicaciones de AG3 más 1-MCP	2AG3 + 1-MCP
5	Aplicación de cera	cera
6	Aplicación de 1-MCP	1-MCP
7	Testigo	Testigo

^z Aplicación precosecha de 300 ppm de ácido giberélico en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha

Los tratamientos postcosecha consistieron en la aplicación de cera y 1-MCP, la cantidad y la forma de aplicación de estos compuestos se encuentra descrito en el experimento 1. Los tratamientos se almacenaron a 22±2°C y 50-60% de humedad relativa, por un período de 10 días para simular condiciones de comercialización. Las evaluaciones realizadas fueron: inicial a los 5 y 10 días de almacenamiento.

Así mismo, en el Experimento 2 se realizaron extracciones de cutícula, ceras epicuticulares e intracuticulares, peso de cutina, así como medición de la permeabilidad de cutícula en frutos de las variedades 'Lise' y 'Colimon'. Los días de evaluación fueron

a los 5 y 10 días de almacenamiento a temperatura ambiente, los tratamientos establecidos para dichas evaluaciones se listan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Descripción de tratamientos en frutos de dos variedades de limón mexicano.

Tratamiento		Nomenclatura
1	Una aplicación de AG3	1AG3
2	Dos aplicaciones de AG3	2AG3
3	Una aplicación de AG3 más 1-MCP	1AG3 + 1-MCP
4	Dos aplicaciones de AG3 más 1-MCP	2AG3 + 1-MCP
5	1-MCP	1-MCP
6	Testigo	Testigo

3.3. Variables evaluadas

3.3.1. Sólidos solubles totales (%)

Los SST se determinaron usando un refractómetro de mano “ATAGO PR-100” con escala de 0 a 32%, de acuerdo con el método de la A. O. A. C (1984). En dicho refractómetro se colocaron gotas de jugo, haciendo la lectura directamente. Las evaluaciones se realizaron en una muestra con tres repeticiones por tratamiento y cinco frutos por repetición. Los datos se expresaron como porcentaje de SST.

3.3.2. Acidez titulable (% ácido cítrico)

La acidez titulable se determinó por el método de la A. O. A. C (2000), para lo cual se tomaron 2 mL de jugo del fruto, se adicionaron 4 gotas de fenolftaleína como indicador;

posteriormente se hizo una titulación con NaOH al 0.3125 N. se realizó en una muestra con tres repeticiones por tratamiento y cinco frutos por repetición. El porcentaje de acidez, con base al ácido cítrico, se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de ácido cítrico} = \frac{(mLNaOH \text{ gastados})(NaOH)(meq)(100)}{alícuota}$$

Donde:

N: Normalidad de NaOH (0.3125)

mL NaOH: mL de NaOH gastados en la titulación

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

3.3.3. Ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico (vitamina C) se determinó por el método de Tillman (A. O. A. C, 1990) (con base en la oxidación del 6-diclorofenolindofenol) y ácido oxálico como solución extractora, reportando los datos como mg de ácido ascórbico/100 mL de jugo. La determinación de ácido ascórbico se hizo en 5 mL de jugo correspondiente a 5 frutos por repetición, realizando tres repeticiones por tratamiento.

3.3.4. Color externo

El índice de color (IC) de la cáscara se midió en 10 frutos por cada tratamiento, se determinó por medio de un colorímetro de reflexión Hunter Lab (Reston, Virginia, USA;

modelo D-25) con escala CIELab, se aplicó el IC para cítricos (1000a/bL) descrito por Jiménez et al. (1981).

3.3.5. Pérdidas de peso (%PP)

Se usaron 10 frutos de cada tratamiento para medirles el peso inicial, a los 5 y 10 días de almacenamiento, para dicha medición se utilizó una balanza digital, el porcentaje de pérdida de peso, se obtuvo por medio de la ecuación siguiente:

$$\% Pp = \frac{Pi - Pf}{Pi} \times 100$$

Donde:

%Pp = Porcentaje de pérdidas de peso

Pi = Peso inicial

Pf = Peso final

3.3.6. Producción de etanol y acetaldehído

Para la cuantificación del contenido de etanol y acetaldehídos se empleó la metodología descrita por Davies y Chace (1969); que consiste en lo siguiente:

1. Se tomaron 5 mL de jugo de 5 frutos por repetición, tomando 3 repeticiones por tratamiento y se colocaron en viales de volumen conocido. Inmediatamente se sellaron los viales.
2. Se incubaron a baño maría a 32 °C/10 min.
3. Se agitaron por 5 segundos.

4. Se tomó 1 mL de gas de la atmósfera del espacio de cabeza y se analizó por cromatografía de gases.
5. Conjuntamente a la preparación de las muestras, se prepararon patrones con concentraciones conocidas de etanol y acetaldehídos (118.4 mg/100 mL y 1.57 mg/100 mL, respectivamente).
6. Los resultados se expresaron como mg de etanol y acetaldehído por 100 mL de jugo.

3.3.7. Extracción y cuantificación de ceras epicuticulares

La extracción de las ceras epicuticulares se determinó utilizando el método descrito por Riederer y Schneider (1990). Se sumergieron tres frutos de cada tratamiento en 150 mL de cloroformo a baño maría a temperatura de 45°C durante 1 min. Las disoluciones de cloroformo se filtraron con papel Wathman N° 1 y se evaporaron a un volumen aproximado de 5 mL que se transfirió a tubos previamente tarados (tres repeticiones con tres frutos cada una, por cada tratamiento), dejándose secar en una estufa a 55°C durante 12 h. El peso del residuo seco representó las ceras epicuticulares totales del fruto, las cuales se expresaron como $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (unidad de área del fruto), calculada según la fórmula $4*\pi*r^2$, considerando al fruto como una esfera.



Figura 5. Extracción de ceras epicuticulares de tres variedades de limón mexicano.

3.3.8. Extracción de cutículas

En los frutos a los que previamente se les removió las ceras epicuticulares, se extrajeron círculos de la corteza con un sacabocados de aproximadamente 1.1309 cm², los cuales se incubaron en un envase de plástico conteniendo una disolución digestora de 1 g de cloruro de zinc (ZnCl₂) con 1.7 mL de ácido clorhídrico (HCl) concentrado, agitándose periódicamente durante 48 h. Se lavaron varias veces con agua destilada y posteriormente se transfirieron a una solución de ácido bórico (H₃BO₃) al 2% durante 24 h con varias agitaciones para eliminar el resto de materia orgánica adherida a ellas y se lavaron nuevamente con agua destilada, colocándolas en una nueva solución de H₃BO₃ al 2% (Schönherr y Riederer, 1986).



Figura 6. Extracción de cutículas de tres variedades de limón mexicano.

3.3.9. Extracción y cuantificación de ceras intracuticulares

La extracción y cuantificación de la cera intracuticular se determinó empleando cutículas aisladas obtenidas según el método descrito por Schönherr y Riederer (1986). Se usaron 5 cutículas de cada tratamiento por repetición (tres repeticiones), después de lavadas con agua destilada se colocaron en tubos previamente tarados conteniendo cloroformo ($\geq 200 \mu\text{l}$ por cm^2 de cutícula) y se incubaron en un baño de agua a 80°C por 30 min. La disolución se filtró en papel Wathman N° 1 y se transfirió a tubos tarados dejándole secar en estufa a 55°C durante 12 h. La cantidad total de ceras intracuticulares se obtuvo mediante el peso del residuo seco, expresándose como μg por unidad de área de cutícula expuesta (cm^2) (Riederer y Schneider, 1990).



Figura 7. Extracción de ceras intracuticulares de tres variedades de limón mexicano.

3.3.10. Peso de cutículas

El peso de las cutículas se realizó empleando las cutículas aisladas de cada tratamiento obtenidas según el método descrito por Schönherr y Riederer (1986) que fueron colocadas en tubos previamente pesados y posteriormente secadas en una estufa a 55°C durante 12 horas. El peso seco representó la cantidad de cutícula de los frutos y se expresó en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

3.3.11. Contenido de cutina

El contenido de cutina se determinó por diferencia del peso cuticular y contenido de ceras intracuticulares totales, expresándose los resultados en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Báez et al., 1993).

3.3.12. Permeabilidad de cutículas

La permeabilidad de la cutícula se midió utilizando 12 cutículas aisladas por unidad experimental de 1.1309 cm^2 de área, extraídas de acuerdo al método descrito por Schönherr y Riederer (1986). Las mismas fueron adheridas en láminas de teflón cubriendo 4 orificios de 0.3318 cm^2 utilizando silicona líquida alrededor de los orificios.

Posteriormente, se montaron sobre cajas de Petri plásticas de 5 cm de diámetro a las que, previamente, se le habían añadido 5 mL de agua destilada y fueron selladas herméticamente con pinzas de presión. Dicho sistema se incubó a $25\pm 1^\circ\text{C}$ y se pesaron a intervalos de una hora durante 8 h. Los datos se expresaron como mg de agua perdida en forma de vapor por cada cm^2 de cutícula expuesta por hora (Báez et al., 1993).

3.4. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental empleado para el experimento 1 fue un diseño factorial con medidas repetidas de $2 \times 5 \times 3$. Se hizo un análisis de varianza para cada variable evaluada con $p \leq 0.05$. Los factores y niveles para el análisis fueron: variedad ('Colimex', 'Lise'), tratamiento (una aplicación de AG3 más cera, dos aplicaciones de AG3 más cera, una aplicación de AG3 más 1-MCP, dos aplicaciones de AG3 más 1-MCP y el testigo), evaluados a través del tiempo de almacenamiento (inicial, 5, 10 días). Se usaron 5 limones como unidad experimental con tres repeticiones, para las siguientes variables respuesta: acidez titulable, sólidos solubles totales y vitamina C, mientras que; para índice de color y pérdida de peso, se utilizó un tamaño de muestra de 10 limones.

En el experimento 2, se usó un diseño factorial con medidas repetidas de $3 \times 7 \times 3$, realizando un análisis de varianza para cada variable estudiada con $p \leq 0.05$. Los factores y niveles para el análisis fueron: variedad ('Colimex', 'Lise', 'Colimon'), tratamiento (una aplicación de AG3 más cera, dos aplicaciones de AG3 más cera, una aplicación de AG3 más 1-MCP, dos aplicaciones de AG3 más 1-MCP, aplicación de cera, aplicación de 1-MCP, testigo), evaluados a través del tiempo de almacenamiento (inicial, 5, 10 días), se usaron 5 limones como unidad experimental con tres repeticiones para las siguientes variables respuesta: sólidos solubles totales, acidez titulable, vitamina C, clorofila, etanol y acetaldehídos. En tanto que, para índice de color y pérdida de peso se utilizó un tamaño de muestra de 10 limones.

Para el análisis de ceras epicuticulares, cutícula, ceras intracuticulares, contenido de cutina y permeabilidad de cutícula se usó un diseño factorial con medidas repetidas de

2*2*3 realizando un análisis de varianza para cada variable estudiada con $p \leq 0.01$. Los factores y niveles para el análisis fueron: variedad (Lise, Colimon) tratamiento (una aplicación de AG3, dos aplicaciones de AG3, una aplicación de AG3 más 1-MCP, dos aplicaciones de AG3 más 1-MCP, aplicación de AG3 y testigo) evaluados a través del tiempo de almacenamiento (5,10 días). Se usaron 3 limones como unidad experimental con tres repeticiones para ceras epicuticulares, cinco cutículas como unidad experimental con tres repeticiones para la determinación de ceras intracuticulares y doce cutículas como unidad experimental para permeabilidad de cutícula.

Los modelos de análisis asociados a los experimentos son:

A) Modelo asociado al experimento 1:

$$Y_{ijkl} = \mu + V_i + \text{Trat}_j + (V * \text{Trat})_{ij} + D_k + (V * D)_{ik} + (\text{Trat} * D)_{jk} + (V * \text{Trat} * D)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde:

Y_{ijkl} Valor de la respuesta: sólidos solubles totales, acidez titulable, vitamina C, índice de color, pérdida de peso asociado a la i-ésima variedad con el j-ésimo .tratamiento en el k-ésimo día de evaluación.

μ Media general.

V_i Efecto de la i-ésima variedad, i='Colimex', 'Lise'.

Trat_j Efecto del j-ésimo tratamiento j=1AG3 + cera, 2AG3 + cera, 1AG3 + 1-MCP, 2AG3 + 1-MCP, testigo.

$(V * \text{Trat})_{ij}$ Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el j-ésimo

tratamiento.

D_k	Efecto del k-ésimo día de evaluación.
$(V * D)_{ik}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el k-ésimo día de evaluación
$(Trat * D)_{jk}$	Efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento y el k-ésimo día de evaluación.
$(V * Trat * D)_{ijk}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad, j-ésimo tratamiento y el k-ésimo día de evaluación.
ε_{ijkl}	Error experimental $\varepsilon_{ijk} \sim \text{IIN}(0, \sigma^2)$

B) Modelo asociado para las variables de calidad del experimento 2:

$$Y_{ijkl} = \mu + V_i + Trat_j + (V * Trat)_{ij} + D_k + (V * D)_{ik} + (Trat * D)_{jk} + (V * Trat * D)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde:

Y_{ijkl}	Valor de la respuesta: sólidos solubles totales, acidez titulable, vitamina C, clorofila, etanol y acetaldehídos, índice de color, pérdida de peso asociado a la i-ésima variedad con el j-ésimo .tratamiento en el k-ésimo día de evaluación.
μ	Media general.
V_i	Efecto de la i-ésima variedad, i='Colimex', 'Lise', 'Colimon'.

$Trat_j$	Efecto del j-ésimo tratamiento , j=1AG3 + cera, 1AG3 + cera, 1AG3 + 1-MCP, 2AG3 + 1-MCP, cera, 1-MCP, testigo.
$(V * Trat)_{ij}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el j-ésimo tratamiento .
D_k	Efecto del k-ésimo día de evaluación.
$(V * D)_{ik}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el k-ésimo día de evaluación
$(Trat * D)_{jk}$	Efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento y el k-ésimo día de evaluación.
$(V * Trat * D)_{ijk}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad, j-ésimo tratamiento y el k-ésimo día de evaluación.
ε_{ijkl}	Error experimental $\varepsilon_{ijk} \sim IIN(0, \sigma^2)$.

C) Modelo asociado para ceras epicuticulares e intracuticulares, cutícula, cutina y permeabilidad de cutícula, del Experimento 2:

$$Y_{ijkl} = \mu + V_i + Trat_j + (V * Trat)_{ij} + D_k + (V * D)_{ik} + (Trat * D)_{jk} + (V * Trat * D)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde:

Y_{ijkl} Valor de la respuesta: ceras epicuticulares, ceras intracuticulares, contenido de cutina, peso de cutícula, permeabilidad de cutícula asociada a la i-ésima variedad con el j-ésimo .tratamiento en el k-

ésimo día de evaluación.

μ	Media general.
V_i	Efecto de la i-ésima variedad, i= 'Lise', 'Colimon'.
$Trat_j$	Efecto del j-ésimo tratamiento, j=1AG3, 2AG3, 1AG3 + 1-MCP, 2AG3 + 1-MCP, 1-MCP, testigo.
$(V * Trat)_{ij}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el j-ésimo tratamiento.
D_k	Efecto del k-ésimo día de evaluación.
$(V * D)_{ik}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad y el k-ésimo día de evaluación
$(Trat * D)_{jk}$	Efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento y el k-ésimo día de evaluación.
$(V * Trat * D)_{ijk}$	Efecto de la interacción entre la i-ésima variedad, j-ésimo tratamiento y el k-ésimo día de evaluación.
ε_{ijkl}	Error experimental $\varepsilon_{ijk} \sim \text{IIN}(0, \sigma^2)$.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Experimento 1

4.1.1 Peso inicial del fruto

En ambas variedades, 'Colimex' y 'Lise', la aplicaciónn precosecha de AG3 redujo significativamente el tamaño del fruto ($p \leq 0.05$), comparado con el peso de frutos no tratados. Por ejemplo, en 'Lise', la reducción fue de alrededor de 48%, con una o dos aplicaciones de AG3 (43.8 vs 22.8 g, para testigo y frutos tratados con AG3). La aplicación de ácido giberélico a un número pequeño de frutos por árbol estimula su crecimiento y aumenta su tamaño final (Hield et al., 1958; García Martínez y García Papi, 1979). Sin embargo, cuando esta sustancia se aplica a la totalidad del árbol el tamaño del fruto disminuye. Descenso que es consecuencia del mayor número de frutos que cuajan y de un efecto depresivo directo, consecuencia del estímulo del crecimiento que el AG3 provoca tras su aplicación y del retraso producido en la caída de los frutos, que al final se traduce en una reducción del crecimiento (Guardiola, 1987).

4.1.2. Sólidos solubles totales

Para esta variable evaluada no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por efecto de variedad, tiempo de almacenamiento, así como en las interacciones variedad por tratamiento, tratamiento por tiempo de almacenamiento y variedad por tratamiento por tiempo de almacenamiento (Cuadro 13). Sin embargo, el factor tratamiento mostró que las combinaciones entre las aplicaciones precosecha de AG3 y 1-MCP en

postcosecha resultaron con el mayor porcentaje de sólidos solubles totales, respecto al testigo (Figura 8).

Este aumento de sólidos solubles puede estar ligado a la aplicación precosecha de AG₃ ya que la aplicación dirigida a los frutos le concede mayor atracción de fotosintatos y por tanto, mayor capacidad de concentrar azúcares (Álvarez, 2007), mientras que la aplicación de 1-MCP se realiza principalmente para inhibir la acción del etileno. Sisler y Serek (1997) y por ende; retardar la maduración y senescencia de los frutos (Xuetong y Matheis, 1998).

La interacción variedad por días reflejó diferencias significativas ($p \leq 0.05$), en el día 10, (Cuadro 13) mostrando a 'Colimex' con un contenido de sólidos solubles mayor (8.37%), respecto a 'Lise' (8.17%), la evaluación inicial y el día 5 no revelaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Figura 9). Este aumento de sólidos se asocia con el aumento en el contenido de azúcares a medida que el fruto madura, debido sobre todo a la acumulación de sacarosa, (Agusti, et. al, 2003). En el limón el aumento en sacarosa, se relaciona con la senescencia del mismo, ya que en la senescencia el metabolismo de la pared celular favorece la liberación de azúcares (Biolatto et al., 2005).

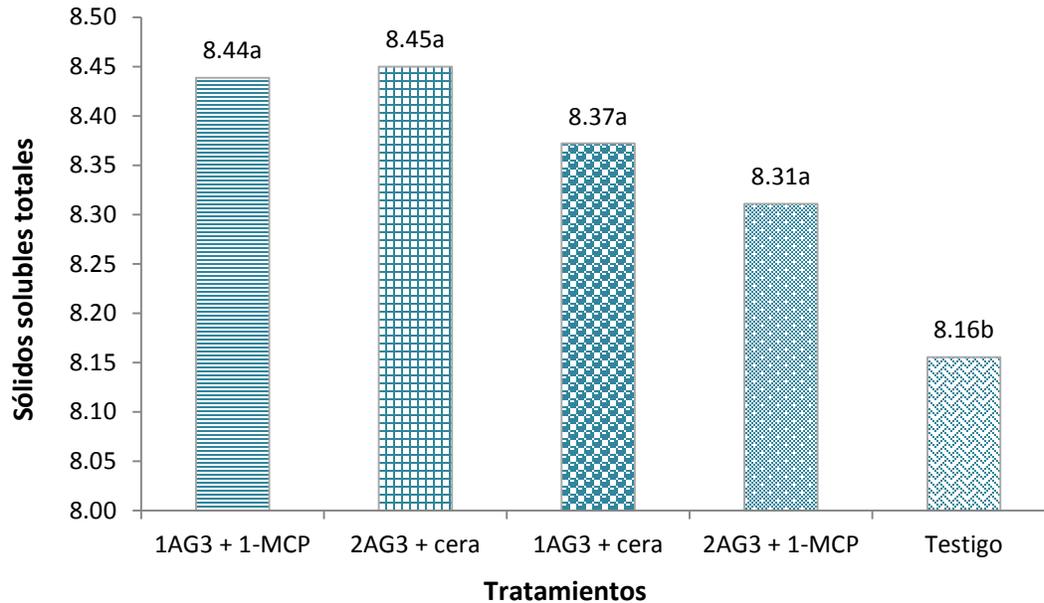


Figura 8. Efecto promedio del tratamiento en el contenido de sólidos solubles totales (%) en frutos de limón mexicano de dos variedades.

Medias con las mismas letras entre pares de combinaciones, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

4.1.3. Acidez titulable

Los efectos principales variedad y tratamiento no mostraron efecto significativo ($p \leq 0.05$) para esta variable (Cuadro 13). Sin embargo, el factor tiempo de evaluación, así como las interacciones variedad por tratamiento, variedad por días de evaluación, tratamiento por días de evaluación y variedad por tratamiento por días de evaluación fueron significativas ($p \leq 0.05$) (Cuadro 13).

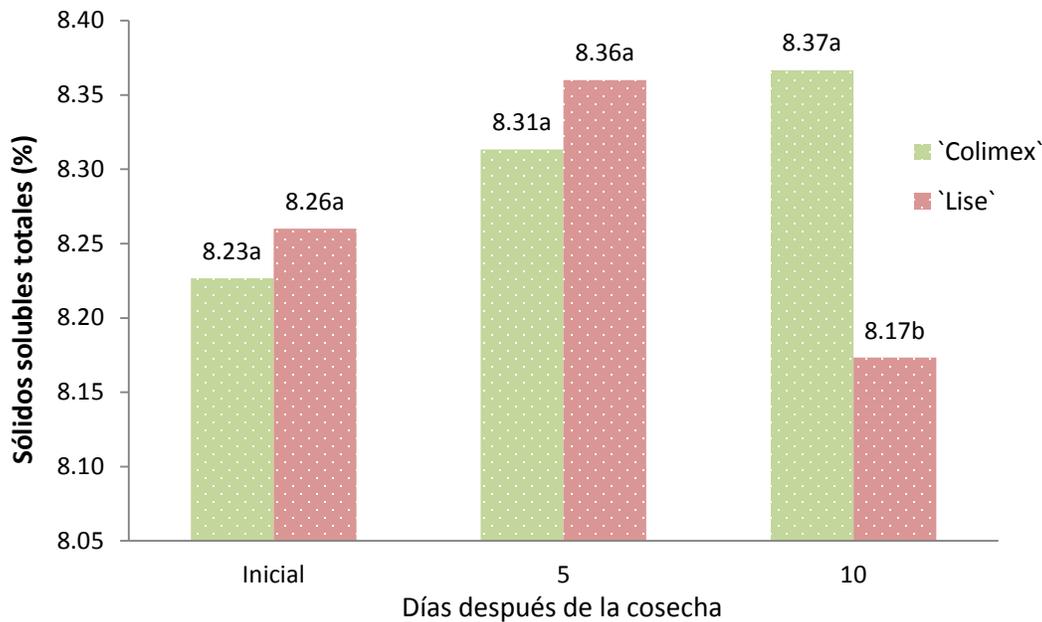


Figura 9. Efecto de la interacción variedad por días en el contenido de Sólidos solubles totales (%) en frutos de limón mexicano de dos variedades.

Medias con las mismas letras entre días, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

En la variedad 'Colimex' se mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. Se observó que dos aplicaciones en precosecha de AG3 más 1-MCP en postcosecha (2AG3 + 1-MCP) reportó el porcentaje más grande de ácido cítrico (16.96%) respecto al testigo (16.02%) y al resto de los tratamientos (Figura 10).

Mientras que en la variedad 'Lise' el tratamiento con mayor porcentaje de ácido cítrico reportado fue el de dos aplicaciones en precosecha de AG3 más cera en postcosecha (2AG3 + cera) alcanzando un valor de 17.11% respecto al testigo (15.07%) y resto de los tratamientos (Figura 11).

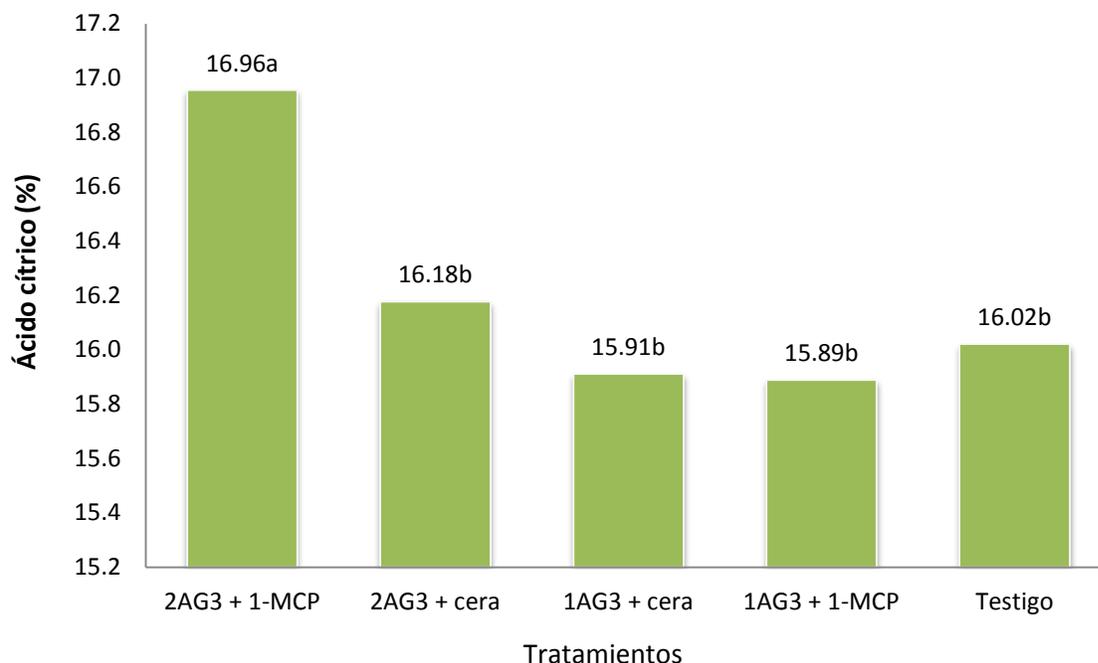


Figura 10. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido de ácido cítrico (%) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimex'.

Medias con la misma letra entre tratamientos, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

El mayor porcentaje de ácido cítrico se encontró en el tratamiento con dos aplicaciones en precosecha de AG3 más 1-MCP en postcosecha (2AG3 + 1-MCP) de la variedad 'Colimex' (16.96%) así como, en el tratamiento de dos aplicaciones en precosecha de AG3 más cera en postcosecha (2AG3 + cera) correspondiente a la variedad 'Lise' (17.11%) (Cuadro 8), mientras que en el resto de los tratamientos y el testigo de ambas variedades el porcentaje de ácido cítrico fue menor a los tratamientos antes mencionados (Cuadro 8).

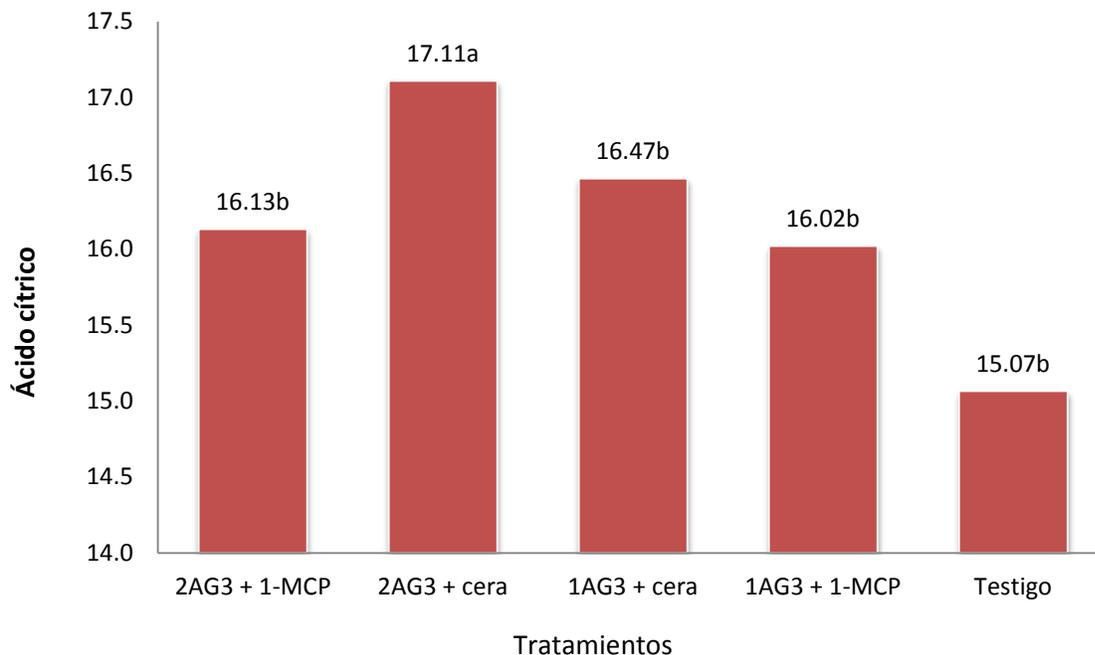


Figura 11. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido de ácido cítrico (%) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.

Medias con la misma letra entre tratamientos, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

El porcentaje inicial de ácido cítrico fue en promedio de 13.66%, aumentando 4.97%, para el día 5 y 2.57%, en el último día de evaluación (Cuadro 14).

La interacción variedad por días de evaluación fue significativa ($p \leq 0.05$) encontrándose que la variedad 'Colimex' y 'Lise' inicialmente alcanzaron un porcentaje de ácido cítrico de 13.33 y 13.99%, respectivamente, presentando diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre ellas, de igual forma, en el día 5 de evaluación se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los porcentajes de ácido cítrico de 'Colimex' y 'Lise', donde la primera obtuvo el porcentaje más grande que la segunda (19.11 y 18.16%,

respectivamente), mientras que en la evaluación final no se mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre variedades obteniendo valores de 16.13 y 16.33%, respectivamente (Figura 12).

Cuadro 8. Porcentaje de ácido cítrico en los diferentes tratamientos de dos variedades de limón mexicano.

Variedad	Tratamiento*	Ácido cítrico (%)
'Colimex'	2AG3 + 1-MCP	16.96a
'Colimex'	2AG3 + cera	16.18b
'Colimex'	1AG3 + cera	15.91b
'Colimex'	1AG3 + 1-MCP	15.89b
'Colimex'	Testigo	16.02b
'Lise'	2AG3 + 1-MCP	16.13b
'Lise'	2AG3 + cera	17.11a
'Lise'	1AG3 + cera	16.47b
'Lise'	1AG3 + 1-MCP	16.02b
'Lise'	Testigo	15.07b

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras entre columna, no presentan diferencia significativa (Tukey p, 0.05).

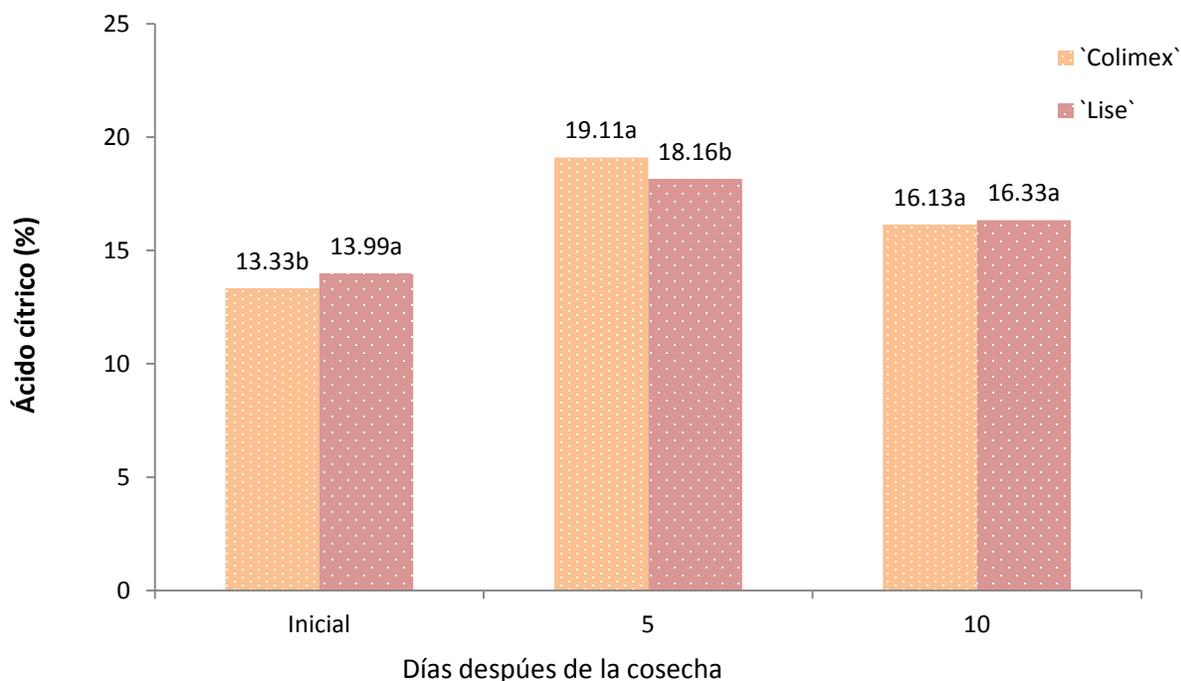


Figura 12. Efecto de la interacción variedad por días de evaluación en el contenido de ácido cítrico (%) en frutos de dos variedades de limón mexicano.

Medias con la misma letra entre pares de columnas no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

La interacción tratamiento por días de evaluación mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los tratamientos de una aplicación en precosecha de AG3 más cera en postcosecha (1AG3 + cera), una aplicación en precosecha de AG3 más 1-MCP en postcosecha (1AG3 + 1-MCP) y dos aplicaciones en precosecha de AG3 más 1-MCP en postcosecha (2AG3 + 1-MCP) reportaron los valores más bajos (13.33, 13.33 y 12.80%, respectivamente) (Figura 13), mientras que dos aplicaciones de AG3 en precosecha más cera en postcosecha (2AG3 + cera) y el testigo alcanzaron los valores más altos de ácido cítrico en la evaluación inicial (14.50 y 14.33%, respectivamente) (Figura 13), el día 5, el testigo fue significativamente diferente ($p \leq 0.05$) del resto de los tratamientos obteniendo el valor más bajo en ácido cítrico (14.17%). Al día 10 de

evaluación los tratamientos: una aplicación en precosecha de AG3 más cera en postcosecha (1AG3 + cera), una aplicación de AG3 en precosecha más 1-MCP en postcosecha (1AG3 + 1-MCP), dos aplicaciones en precosecha de AG3 más cera en postcosecha (2AG3 + cera) y dos aplicaciones en precosecha de AG3 más 1-MCP en postcosecha (2AG3 + 1-MCP) reportaron valores de 15.63, 15.60, 15.47 y 16.33%, respectivamente, reflejando diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con el testigo, el cuál alcanzó 18.13% de ácido cítrico, donde éste último tuvo el porcentaje más grande de ácido cítrico (Figura 13).

La interacción variedad por tratamiento por días de evaluación permitió observar los cambios del contenido de ácido cítrico en las dos variedades de limón mexicano a través del tiempo de almacenamiento, encontrándose que el tratamiento con mayor porcentaje de ácido cítrico, en la evaluación inicial fue dos aplicaciones en precosecha de AG3 más cera en postcosecha (2AG3 + cera) correspondiente a la variedad 'Lise' con 15.73% habiendo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con el resto de los tratamientos de ambas variedades (Cuadro 9), los cambios en el contenido de ácido cítrico se hicieron más evidentes en cada tratamiento hallando que en la evaluación del día 5: el testigo de la variedad 'Colimex' y 'Lise' alcanzaron los niveles más bajos de ácido cítrico (15.00 y 13.33%, respectivamente), encontrándose diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con el resto de los tratamientos de ambas variedades, sin embargo; en la evaluación final el testigo de ambas variedades mostraron los valores más grandes de ácido cítrico (Cuadro 9), cabe mencionar que estos dos tratamientos no tuvieron ninguna aplicación tanto en precosecha como en postcosecha, que si bien se puede relacionar este decremento de acidez en los frutos a la aplicación en precosecha de

AG3, relacionado a esto El Otmani y Coggins (1991) encontraron que en frutos de mandarina ‘Clementina’ (*Citrus reticulata* Blanco) y naranja ‘Washington Navel’ (*Citrus sinensis*) con aplicaciones en precosecha de AG₃ y 2,4 D (2,4 ácido diclorofenoxiacético) reportaron decrementos en los contenidos de acidez titulable en el jugo de ambas variedades durante el periodo de almacenamiento, entre la quinta y sexta semana.

Cuadro 9. Porcentaje de ácido cítrico en los diferentes tratamientos de dos variedades de limón mexicano evaluados a través de 10 días después de cosecha.

Variedad	Tratamiento	Ácido cítrico (%)		
		Inicial	Día 5	Día 10
‘Colimex’	Testigo	14.8b	15.0b	18.27a
‘Colimex’	1AG3 + cera	12.67b	19.73a	15.33b
‘Colimex’	1AG3 + 1-MCP	12.67b	19.73a	15.27b
‘Colimex’	2AG3 + cera	13.27b	20.07a	15.2b
‘Colimex’	2AG3 + 1-MCP	13.27b	21.0a	16.6b
‘Lise’	Testigo	13.87b	13.33a	18.0a
‘Lise’	1AG3 + cera	14.00b	19.47a	15.93b
‘Lise’	1AG3 + 1-MCP	14.00b	18.13a	15.93b
‘Lise’	2AG3 + cera	15.73a	19.87a	15.73b
‘Lise’	2AG3 + 1-MCP	12.33b	20.0a	16.07b

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras entre columnas no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

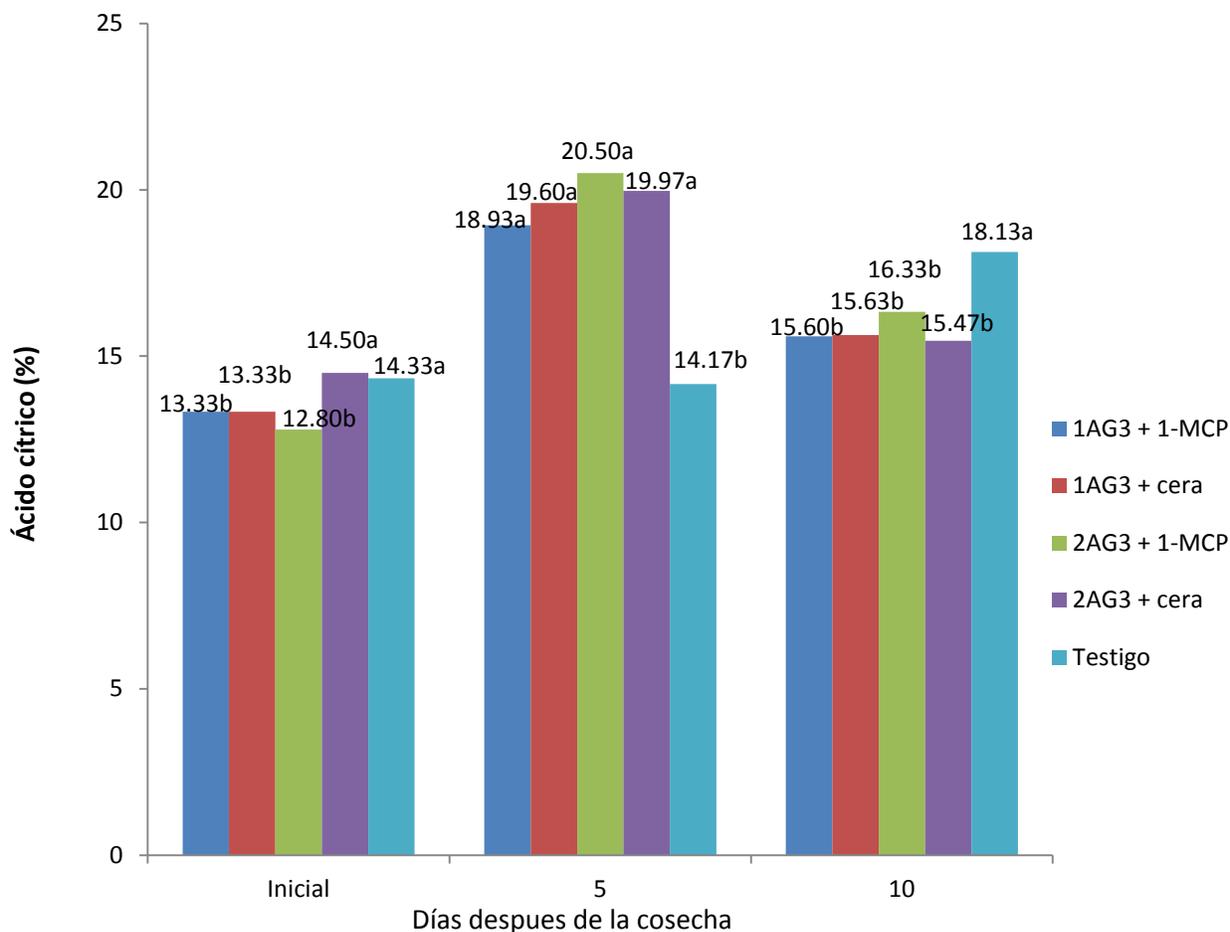


Figura 13. Efecto de la interacción tratamiento por días de evaluación en el contenido de ácido cítrico (%) en frutos de limón mexicano de dos variedades.

Medias con la misma letra por día no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

4.1.4. Ácido ascórbico

El factor principal variedad no mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$), lo que significa que los frutos de 'Colimex' y 'Lise' tuvieron resultados similares de ácido ascórbico

(Cuadro 14), por el contrario, el factor tratamiento tuvo un efecto significativo ($p \leq 0.05$) encontrándose que dos aplicaciones en precosecha de AG3 más 1-MCP en postcosecha alcanzó el valor más grande de ácido ascórbico (43.10 mg de ácido ascórbico / 100 mL de jugo), mientras; que el resto de los tratamientos así como el testigo obtuvieron valores más bajos de ácido ascórbico observándose diferencias significativas ($p \leq 0.05$), entre ellos (Figura 14).

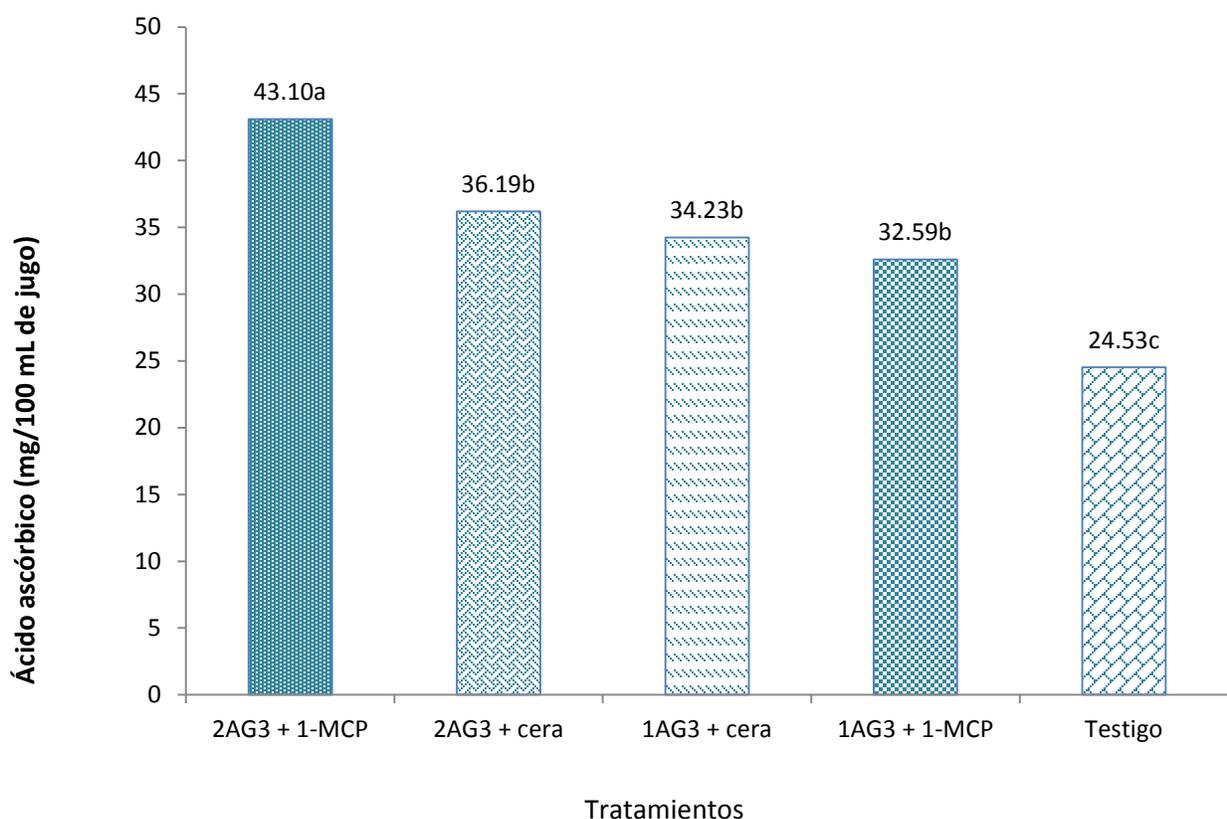


Figura 14. Efecto promedio del tratamiento en el contenido de ácido ascórbico (mg / 100 mL de jugo) en frutos de dos variedades de limón mexicano.

Medias con las mismas letras no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

La interacción variedad por tratamiento resultó significativa ($p \leq 0.05$) encontrándose en la variedad 'Colimex' que los tratamientos combinados de AG3 y cera así como la combinación de AG3 más 1-MCP mantuvieron en mayor proporción el contenido de ácido ascórbico a diferencia del testigo (22.86 mg de ácido ascórbico / 100 mL de jugo) que obtuvo el valor más bajo como se muestra en la Figura 15.

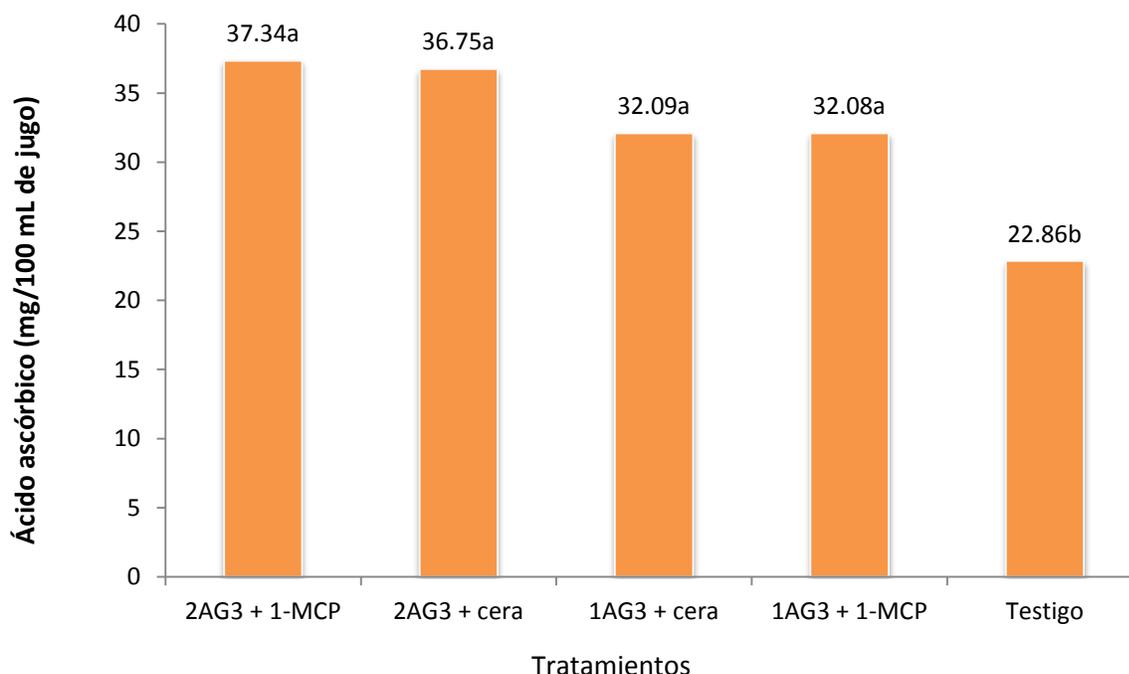


Figura 15. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido de ácido ascórbico (mg/100 mL de jugo) en frutos de limón mexicano de la variedad 'Colimex'.

Medias con las mismas letras entre columnas, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

Por otro lado, en la variedad 'Lise' se encontró que los tratamientos con aplicaciones en precosecha de AG3 combinados con cera y 1-MCP en postcosecha, mantienen los

niveles de ácido ascórbico, mientras que en el testigo se muestra el valor más bajo de éste ácido (26.20 mg de ácido ascórbico / 100 mL de jugo), esto se aprecia en la Figura 16.

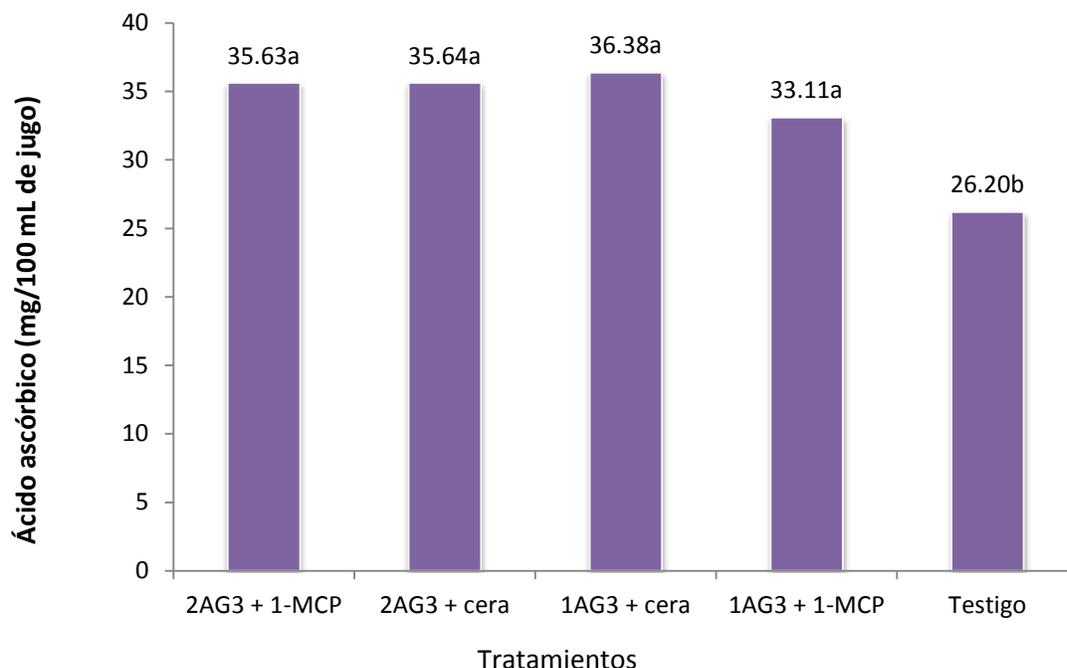


Figura 16. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido de ácido ascórbico (mg/100 mL de jugo) en frutos de limón mexicano de la variedad 'Lise'.

Medias con las mismas letras entre columnas, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

El mayor contenido de ácido ascórbico se presentó en los tratamientos con aplicaciones en precosecha de AG3 en combinación de cera y 1-MCP en postcosecha tanto en la variedad 'Colimex' como en 'Lise' en los cuales no se mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre ellos, mientras que el testigo de ambas variedades obtuvo

el valor más bajo de ácido ascórbico que estadísticamente estos dos resultaron ser iguales (Cuadro 10).

Cuadro 10. Contenido de ácido ascórbico en los diferentes tratamientos de dos variedades de limón mexicano.

Variedad	Tratamiento	Ácido ascórbico (mg/100 mL de jugo)
'Colimex'	2AG3 + 1-MCP	37.34a
'Colimex'	2AG3 + cera	36.75a
'Colimex'	1AG3 + cera	32.09a
'Colimex'	1AG3 + 1-MCP	32.08a
'Colimex'	Testigo	22.86b
'Lise'	2AG3 + 1-MCP	35.63a
'Lise'	2AG3 + cera	35.64a
'Lise'	1AG3 + cera	36.38a
'Lise'	1AG3 + 1-MCP	33.11a
'Lise'	Testigo	26.20b

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras entre columna, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

El contenido de ácido ascórbico aumentó durante el periodo de evaluación, inicialmente el contenido fue de 30.44 mg de ácido ascórbico / 100 mL de jugo, incrementándose para los días 5 y 10 días de evaluación (36.66 y 35.29 mg de ácido ascórbico / 100 mL de jugo, respectivamente) (Cuadro 14).

La interacción variedad por días de evaluación resultó significativa ($p \leq 0.05$). El contenido inicial y final de ácido ascórbico no reflejaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre variedades, lo que significa un contenido igual de ácido ascórbico entre 'Colimex' y 'Lise' (Figura 17). Sin embargo, a los 5 días de almacenamiento la variedad 'Colimex' tenía un contenido mayor de ácido ascórbico que 'Lise' (Figura 17).

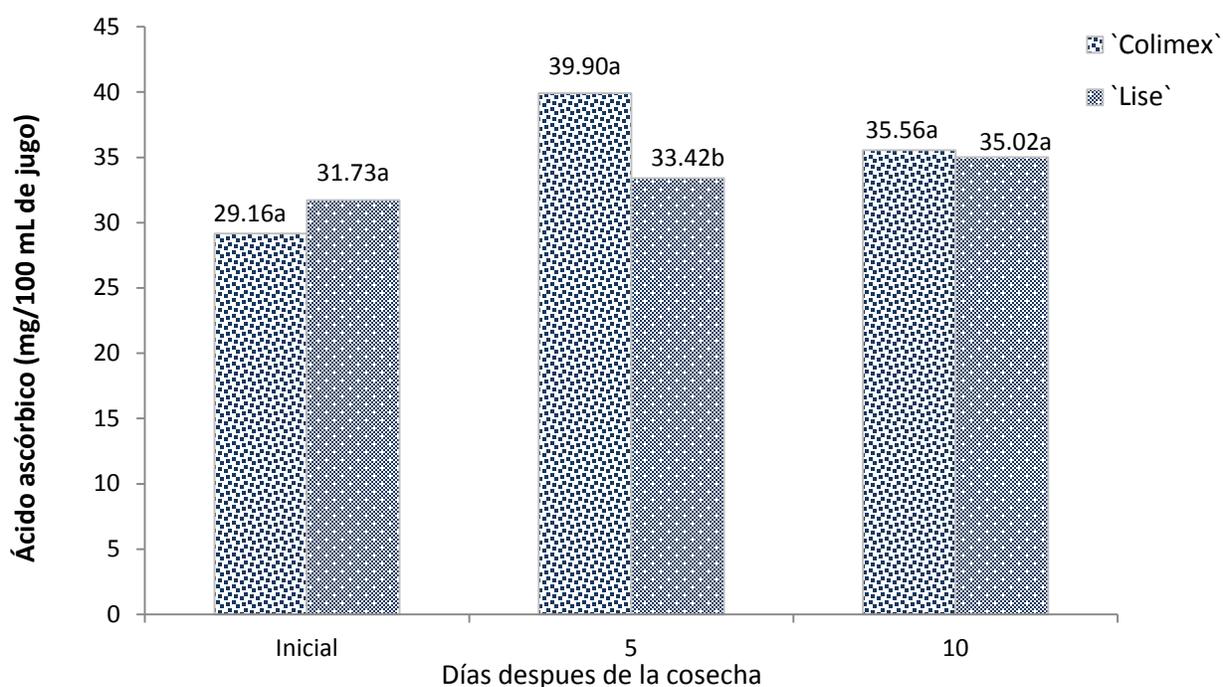


Figura 17. Efecto de la interacción variedad por días de evaluación en el contenido de ácido ascórbico (mg / 100 mL de jugo) en frutos de dos variedades de limón mexicano.

Medias con la misma letra entre pares de columnas no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

La interacción tratamiento por días de evaluación mostró efecto significativo ($p \leq 0.05$), observándose inicialmente un valor promedio de 30.44 mg de ácido ascórbico /100 mL de jugo (Figura 18), donde no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre

tratamientos, Al día 5 dos aplicaciones en precosecha de AG3 más 1-MCP fue significativamente más alto ($p \leq 0.05$) que el resto, alcanzando 44.09 mg de ácido ascórbico / 100 mL de jugo (Figura 18) En la evaluación final: una aplicación en precosecha de AG3 más cera en postcosecha (1AG3 + cera), dos aplicaciones en precosecha de AG3 más cera (2AG3 + cera) y dos aplicaciones en precosecha de AG3 más 1-MCP en postcosecha (2AG3 + 1-MCP) alcanzaron los valores más altos, seguidos de una aplicación en precosecha de AG3 más 1-MCP (1AG3 + 1-MCP) y del testigo que obtuvo el valor más bajo (16.89 mg de ácido ascórbico / 100 mL de jugo) (Figura 18).

Se encontró efecto significativo ($p \leq 0.05$) de la interacción variedad por tratamiento por días evaluados. (Cuadro 13). En la evaluación inicial y del día 5 no se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), el día 10 de evaluación, el testigo de ambas variedades, alcanzaron los niveles más bajos de ácido ascórbico (Cuadro 11), mientras que las combinaciones entre las aplicaciones precosecha de AG3 más 1-MCP y cera en postcosecha mantuvieron alto el contenido de este ácido, en relación a esto Armenta *et al* (2008) quienes reportan que la aspersion de 10 a 20 ppm de AG3 combinado con 5 ppm de benciladenina o 15 ppm de ácido-2- indol-butírico, resultaron con una mayor proporción de ácido ascórbico en frutos de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle) durante el almacenamiento, bajo condiciones de refrigeración (9 ± 1 °C) como de comercialización (20 ± 2 °C). El Otmani y Coggins (1991) por su lado, concluyen que las aplicaciones en cítricos de AG3 en precosecha retrasan la senescencia, lo cual, mantiene por mayor tiempo la calidad externa e interna de los frutos tanto almacenados en el árbol como en el almacenamiento postcosecha.

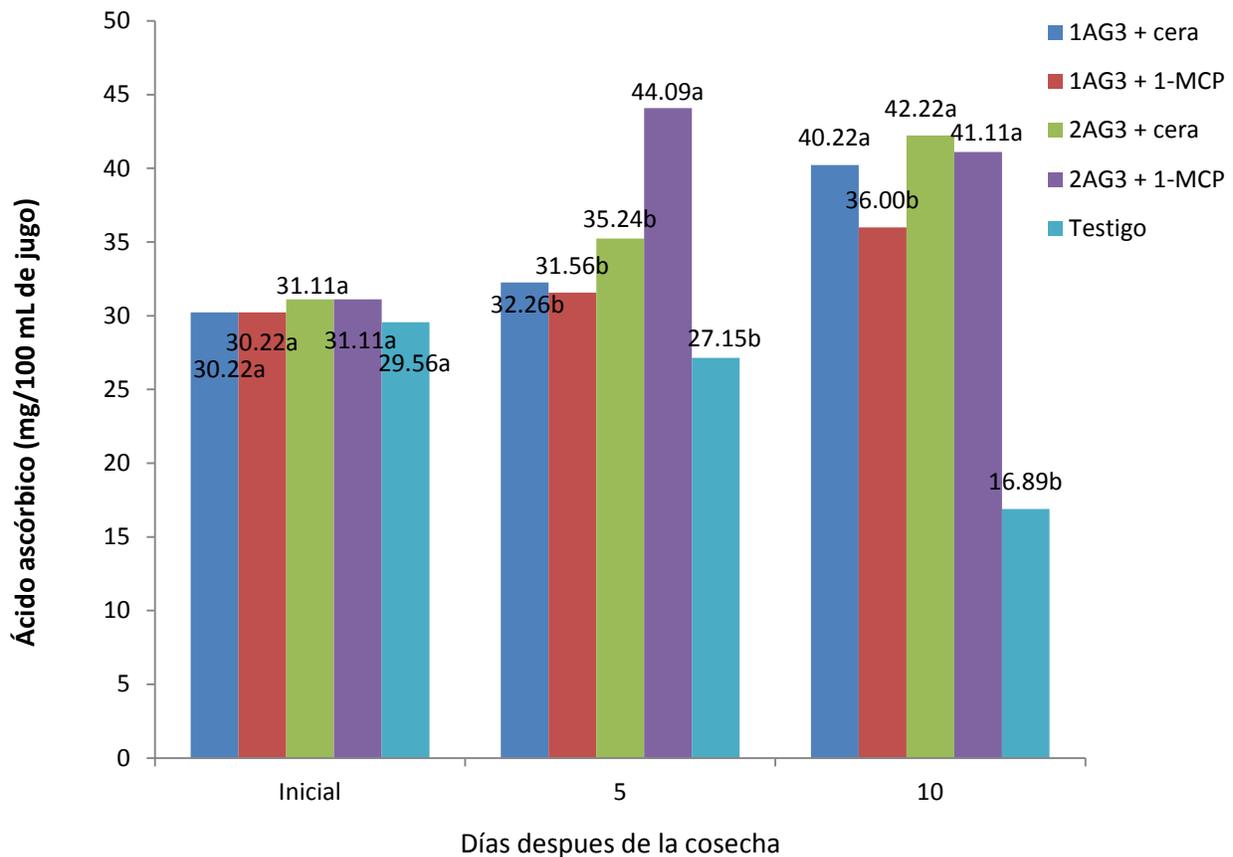


Figura 18. Efecto de la interacción tratamiento por días de evaluación en el contenido ácido ascórbico (mg / 100 mL de jugo) en frutos de limón mexicano.

Medias con las mismas letras por días de almacenamiento no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

Se sabe que el 1-MCP es un inhibidor de la acción del etileno; por lo que, con la aplicación de éste en los frutos se busca la detención de la senescencia (Guilen et al., 2007), efecto favorable del mismo que se vio reflejado en una proporción mayor de ácido ascórbico en los tratamientos del presente experimento con este compuesto.

De igual manera el encerado es una técnica de conservación frutícola, para el caso de este experimento la cera utilizada en los tratamientos mantuvo en mayor proporción el contenido de ácido ascórbico de los frutos al finalizar el periodo de almacenamiento.

Cuadro 11. Contenido de ácido ascórbico en los diferentes tratamientos de dos variedades de limón mexicano evaluados a través de 10 días después de cosecha.

Variedad	Tratamientos*	Ácido ascórbico (mg/100 mL de jugo)		
		Inicial	Día 5	Día 10
'Colimex'	1AG3 + cera	26.0a	32.49a	37.78a
'Colimex'	1AG3 + 1-MCP	26.0a	32.03a	38.22a
'Colimex'	2AG3 + cera	32.44a	33.35a	44.44a
'Colimex'	2AG3 + 1-MCP	32.45a	37.51a	41.78a
'Colimex'	Testigo	28.89a	24.14a	15.56b
'Lise'	1AG3 + cera	34.44a	32.03a	42.67a
'Lise'	1AG3 + 1-MCP	35.0a	31.10a	33.78a
'Lise'	2AG3 + cera	30.0a	37.13a	40.40a
'Lise'	2AG3 + 1-MCP	29.78a	36.67a	40.44a
'Lise'	Testigo	30.22a	30.17a	18.22b

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras entre columna, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

Para el caso del contenido de ácido ascórbico parece ser que la combinación entre la fitohormona AG3 y el 1-MCP así como la combinación de AG3 y cera actúan sinérgicamente y por tanto, mantienen en mayor proporción este ácido en los frutos de limón mexicano.

4.1.5. Pérdida de peso

El factor variedad y las interacciones variedad por tratamiento, variedad por días de evaluación y variedad por tratamiento por días de evaluación no mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Sin embargo, el factor tratamiento, días de evaluación y la interacción tratamiento por días de evaluación sí mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Cuadro 13).

En este sentido el factor tratamiento se encontró que el efecto de dos aplicaciones en precosecha de AG3 en combinación con cera en postcosecha (2AG3 + cera) y una sola aplicación en precosecha de AG3, combinado con 1-MCP, en postcosecha (1AG3 + 1-MCP), fueron significativamente menores ($p \leq 0.05$) en pérdida de peso que el testigo y una aplicación de AG3 en precosecha más cera en postcosecha (1AG3 + cera) (Figura 19).

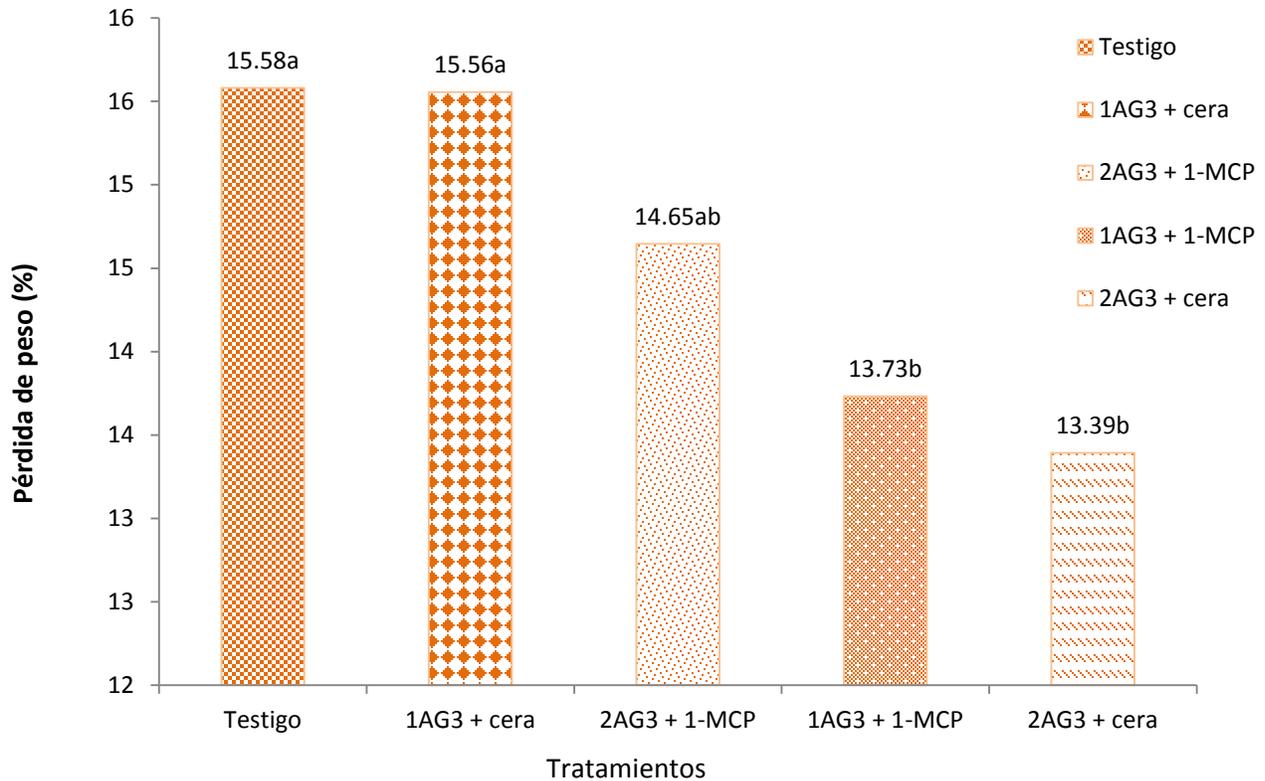


Figura 19. Efecto del tratamiento en la pérdida de peso (%) en frutos de limón mexicano.

Medias con las mismas letras no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

La pérdida de peso de peso en los frutos de limón mexicano fue significativamente ($p \leq 0.05$) aumentando de 8.85% en el día 5 a 17.59% para el día 10.

La interacción tratamiento por días de evaluación fue significativa ($p \leq 0.05$), para la pérdida de peso. En el día 5 el tratamiento con menor pérdida de peso fue la combinación de dos aplicaciones de AG₃ en precosecha y cera en postcosecha (2AG3 + cera), contrario al testigo que fue el que perdió más peso (10.46%) (Figura 20). Para el día 10 el porcentaje de pérdida de peso en 1AG3 + 1-MCP, 2AG3 + cera y 2AG3 + 1-

MCP (18.34, 18.49 y 19.01%, respectivamente) fue significativamente ($p \leq 0.05$) menor al testigo con 22% de pérdida de agua (Figura 20). Cabe mencionar que los tratamientos con menor pérdida de agua tuvieron aplicaciones precosecha de AG₃ de y 1-MCP y cera en postcosecha. Estudios similares realizados por Álvarez et al. (2010) encontraron que la aplicación conjunta de ácido AG₃ y cera de carnauba redujeron la pérdida de peso en frutos de limón mexicano, que en el caso de esta fruta, los síntomas de la senescencia se deben principalmente a la deshidratación.

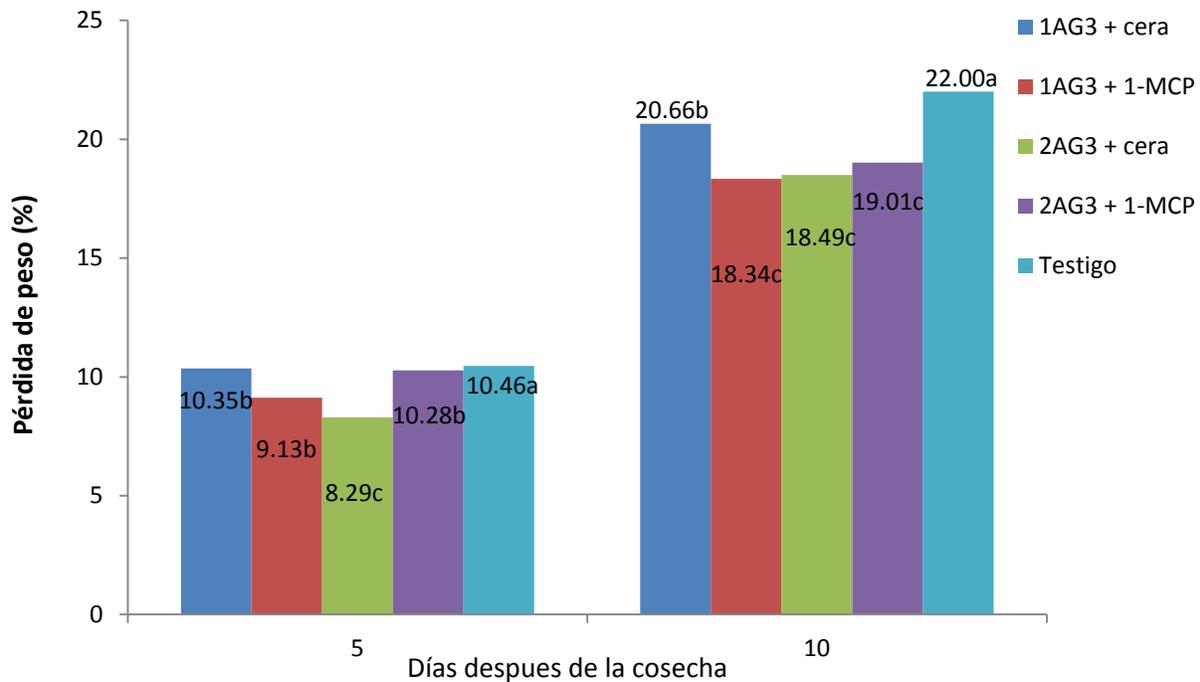


Figura 20. Efecto de la interacción tratamiento por días de evaluación en la pérdida de peso (%) en frutos de limón mexicano.

Medias con las mismas letras por días de almacenamiento no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

4.1.6. Índice de color

Para el caso del índice de color se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el factor variedad, tratamiento y días así como en las interacciones tratamiento por días de evaluación y variedad por tratamiento por días de evaluación (Cuadro 13).

En relación a la variedad, 'Colimex' mostró un índice de color más negativo (-14.37), comparado con 'Lise' (-13.11), que de acuerdo al índice de color para cítricos (IC=1000 a/bL) propuesto por Jimenez-Cuesta et al. (1981) proporciona una alta correlación entre la apariencia visual y la instrumental en el intervalo de colores comprendido entre verde oscuro (valores más negativos) y amarillo (valores más positivos), por lo que, los frutos de la variedad 'Colimex' son más verdes, que los frutos de 'Lise'.

Entre tratamientos también el índice de color más negativo (más verde) se encontró en una aplicación en precosecha de AG3 más 1-MCP (1AG3 + 1-MCP), dos aplicaciones de AG3 más 1-MCP (2AG3 + 1-MCP) y dos aplicaciones de AG3 más cera (2AG3 + cera) en tanto una aplicación de AG3 más cera (1AG3 + cera) y el testigo presentaron una coloración menos verde en la cáscara (Figura 21).

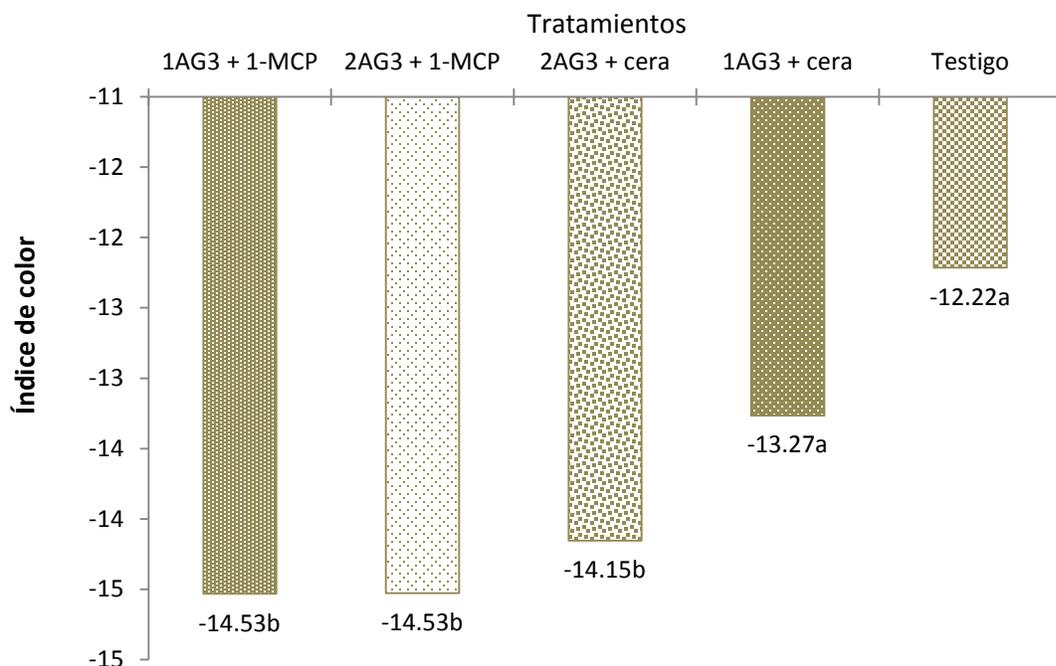


Figura 21. Efecto del tratamiento en el Índice de Color (IC=1000a/bL) en frutos de tres variedades limón mexicano.

Medias con las mismas letras entre columnas, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

En promedio el índice de color de los frutos de limón mexicano, inicialmente fue de -14.94, descendiendo a -12.49 tras 10 días de almacenamiento (Cuadro 14).

La interacción tratamiento por días de evaluación reflejó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) encontrándose que los tratamientos con una aplicación de AG3 más 1-MCP (1AG3 + 1-MCP) y dos aplicaciones de AG3 más 1-MCP (2AG3 + 1-MCP) inicialmente, mostraron el IC (-16.14 y -15.75, respectivamente) más negativo, respecto al testigo, una aplicación de AG3 más cera (1AG3 + cera) y dos aplicaciones de AG3 más cera (2AG3 + cera) con valores de -14.02, -14.38 y -14.40, respectivamente. Transcurridos 5

días se mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la combinación de dos aplicaciones precosecha de AG₃ y encerado postcosecha (2AG₃ + cera) y el testigo, donde el primero tuvo un IC más negativo (-15.01), respecto al segundo que alcanzó un IC menos negativo (-12.82). A los 10 días los tratamientos que mostraron el índice de color más negativo fueron una aplicación de AG₃ más cera (1AG₃ + cera), una aplicación de AG₃ más 1-MCP (1AG₃ + 1-MCP), dos aplicaciones de AG₃ más cera (2AG₃ + cera) y dos aplicaciones de AG₃ más 1-MCP (2AG₃ + 1-MCP), mientras que el testigo mostró un valor menos negativo (Figura 22). Esto significa, que los frutos sin tratamiento pre y postcosecha, al finalizar el experimento tuvieron mayor pérdida de coloración verde en la cáscara.

La interacción variedad por tratamiento por días de evaluación mostró que inicialmente el tratamiento de dos aplicaciones de AG₃ (que posteriormente se enceró) de la variedad 'Lise' alcanzó el IC menos negativo (-12.64), en comparación con el resto (Cuadro 12), para el día 5, no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. Sin embargo, a los 10 días, se observó claramente que el testigo de la variedad 'Lise' alcanzó un IC menos negativo (-8.02), que el resto de los tratamientos (Cuadro 12), lo que significa una pérdida mayor de la coloración verde de la cáscara de los frutos. Esta reducción en pérdida de color verde en los frutos de los tratamientos de la variedad 'Lise', se debe a la combinación de AG₃ en precosecha y 1-MCP y cera, en postcosecha. Se ha reportado que la aplicación de giberelinas antes del inicio del cambio de color proporciona un retraso en la aparición externa de la madurez en frutos cítricos (Amorós, 2003) y reducen la pérdida de agua en frutos de toronja 'Ruby Red' cuando se almacenaron durante 30 días en postcosecha (Fucik, 1981). Fidelibus et al.

(2002), se encontraron que al realizar aspersiones de AG3 al follaje retrasaron el cambio de color en naranja ‘Hamlin’, ‘Pineapple’ y ‘Valencia’, estos frutos presentaron una coloración más verde y con cáscara más resistente a los daños por punción, en relación con los frutos de los árboles testigo.

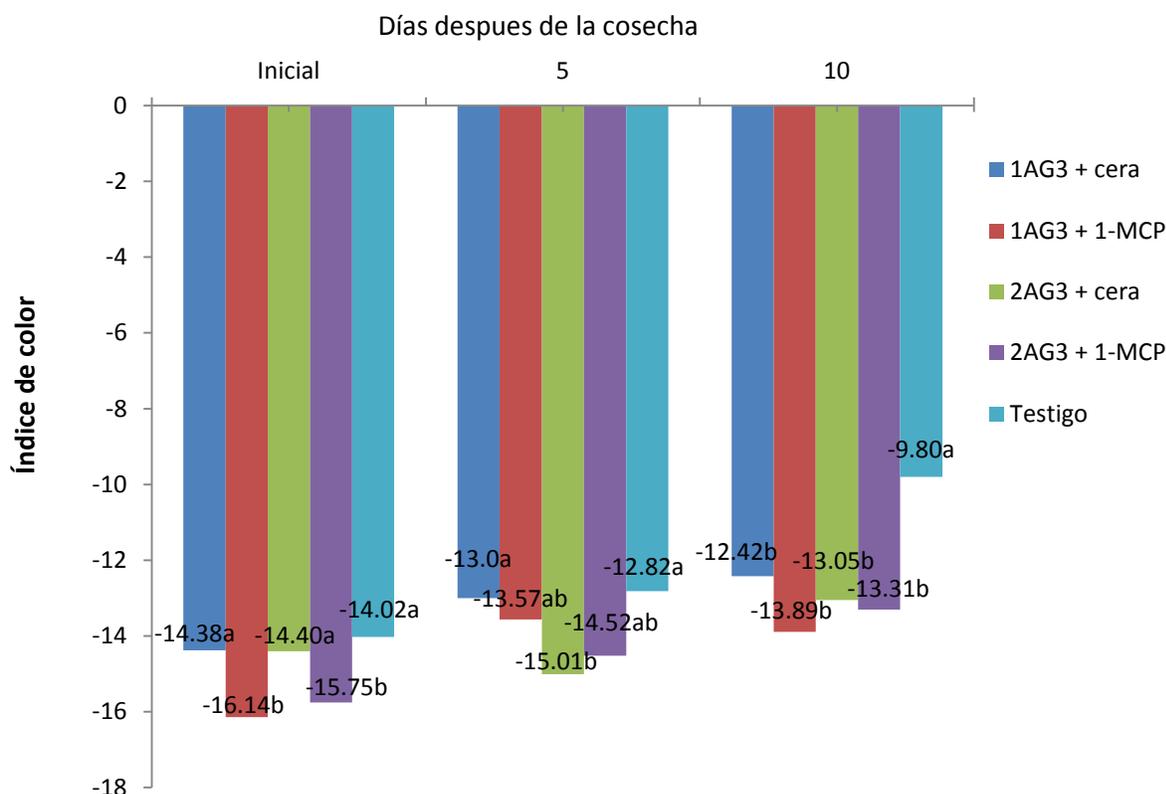


Figura 22. Efecto de la interacción tratamiento por días de evaluación en el Índice de Color (IC=1000 a/bL) en frutos de limón mexicano.

Medias con las mismas letras entre días de evaluación no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05) * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

Mientras que, se ha demostrado que si se aplica el 1-MCP en un estado de madurez adecuado (que cumpla con los requisitos de acuerdo a las normas para los diferentes

productos hortofrutícolas) previene los efectos del etileno como la madurez y senescencia de los frutos (Xuetong y Matheis, 1998).

Cuadro 12. Índice de color en los diferentes tratamientos de dos variedades de limón mexicano evaluados a través de 10 días después de la cosecha.

Variedad	Tratamiento	Índice de color (IC=1000a/bL)		
		Inicial	Día 5	Día 10
'Colimex'	Testigo	-14.35b	-13.94a	-11.59a
'Colimex'	1AG3 + cera	-14.76b	-13.12a	-12.41a
'Colimex'	1AG3 + 1-MCP	-16.34b	-14.70a	-13.99a
'Colimex'	2AG3 + cera	-16.17b	-15.08a	-13.62a
'Colimex'	2AG3 + 1-MCP	-16.17b	-15.47a	-13.90a
'Lise'	Testigo	-13.69ab	-11.70a	-8.02b
'Lise'	1AG3 + cera	-13.99b	-12.88a	-12.44a
'Lise'	1AG3 + 1-MCP	-15.95b	-12.44a	-13.79a
'Lise'	2AG3 + cera	-12.64a	-14.94a	-12.48a
'Lise'	2AG3 + 1-MCP	-15.34b	-13.58a	-12.71a

Medias con las mismas letras entre columna, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

Cuadro 13. Valores P (P-value) de sólidos solubles totales, ácido cítrico, ácido ascórbico, pérdida de peso e índice de color.

Factores	Sólidos solubles totales (%)	Acidez titulable (%)	Ácido ascórbico (mg/100 mL de jugo)	Pérdida de peso (%)	Índice de color (IC=1000 a/L*b)
Variedad (V)	0.40	0.88	0.17	0.07	0.001
Tratamiento (T)	0.001	0.06	<0.001	<0.001	0.0004
V * T	0.35	0.03	<0.001	0.70	0.60
Días de evaluación (D)	0.25	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
V * D	0.002	0.004	0.005	0.06	0.95
T * D	0.6	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
V * T * D	0.12	0.03	<0.001	0.93	0.006

Cuadro 14. Efectos principales para sólidos solubles totales, ácido cítrico, ácido ascórbico, índice de color y pérdida de peso.

Factor	Sólidos solubles totales (%)	Acidez titulable (%)	Ácido ascórbico (mg/100 mL de jugo)	Índice de color (IC=1000a/L*b)	Pérdida de peso (%)
<i><u>Variedad</u></i>					
'Colimex'	8.30 a	16.19 a	34.87 a		12.70 a
'Lise'	8.26 a	16.16 a	33.39 a	-14.37 b	13.70 a
<i><u>Tratamientos*</u></i>					
1AG3 + cera	8.37 a	16.19 a	34.23 b	-13.27 a	15.60 a
1AG3+ 1-MCP	8.44 a	15.96 a	32.59 b	-14.53 b	13.70 b
2AG3 + cera	8.45 a	16.64 a	36.19 b	-14.15 b	13.40 b
2AG3+ 1-MCP	8.31 a	16.54 a	43.10 a	-14.53 b	14.65 ab
Testigo	8.16 b	15.54 a	24.53 c	-12.22 a	15.60 a
<i><u>Días de evaluación</u></i>					
Inicial	8.24 a	13.66 c	30.44 b	-14.94 c	NA
5 días	8.34 a	18.63 a	36.66 a	-13.78 b	8.90 b
10 días	8.27 a	16.23 b	35.29 a	-12.49 a	17.60 a

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras dentro de cada columna y por factor no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

4.2. Experimento 2

4.2.1. Peso inicial del fruto

La aplicación de AG3 en precosecha redujo significativamente ($p \leq 0.01$) el peso del fruto en las tres variedades, de 37.7 g a 31.3 g, independiente del número de aplicaciones de AG3. Sin embargo, la reducción en el peso fue diferente en cada variedad. En 'Lise', fue la mayor reducción, al pasar de 44 g en el testigo, a 34.3 y 30.3 g respectivamente, con una y dos aplicaciones de AG3. En 'Colimón', fue la menor reducción con 5 y 11% en 1AG3 y 2AG3, respecto al testigo (33.5 g), en tanto que en 'Colimex', la reducción fue de 11 y 15% para 1AG3 y 2AG3, respecto al testigo (35.6 g).

4.2.2. Sólidos solubles totales

En promedio el contenido de sólidos solubles totales en el jugo de limón mexicano entre variedades fue diferente, 'Colimex' presentó el mayor porcentaje de sólidos solubles, seguida de 'Lise' y 'Colimon' (Cuadro 21).

El factor tratamiento presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$), encontrándose inicialmente que las aplicaciones en precosecha de AG3 (que posteriormente se les aplicó cera o 1-MCP) alcanzaron los niveles más altos de sólidos solubles, respecto al testigo, sólo aplicación de 1-MCP y emulsión de cera (Figura 23).

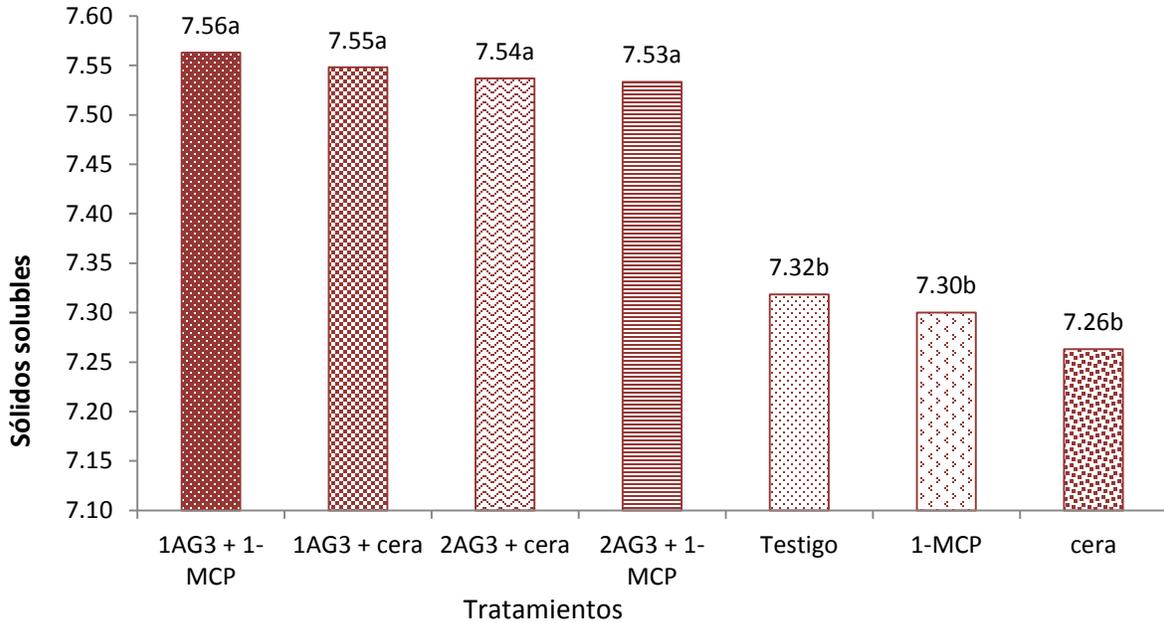


Figura 23. Efecto promedio del tratamiento en el contenido de sólidos solubles totales (%) en frutos de limón mexicano.

Promedio de tres variedades. Medias con las mismas letras entre barras no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

Al realizar la interacción variedad por tratamiento, se encontró que en la variedad 'Colimex' los tratamientos con aplicaciones en precosecha de AG3 combinados con cera o 1-MCP en postcosecha alcanzaron los niveles más altos de sólidos solubles (Figura 24) en comparación con el testigo y los tratamientos con aplicaciones postcosecha de cera y 1-MCP (Figura 24).

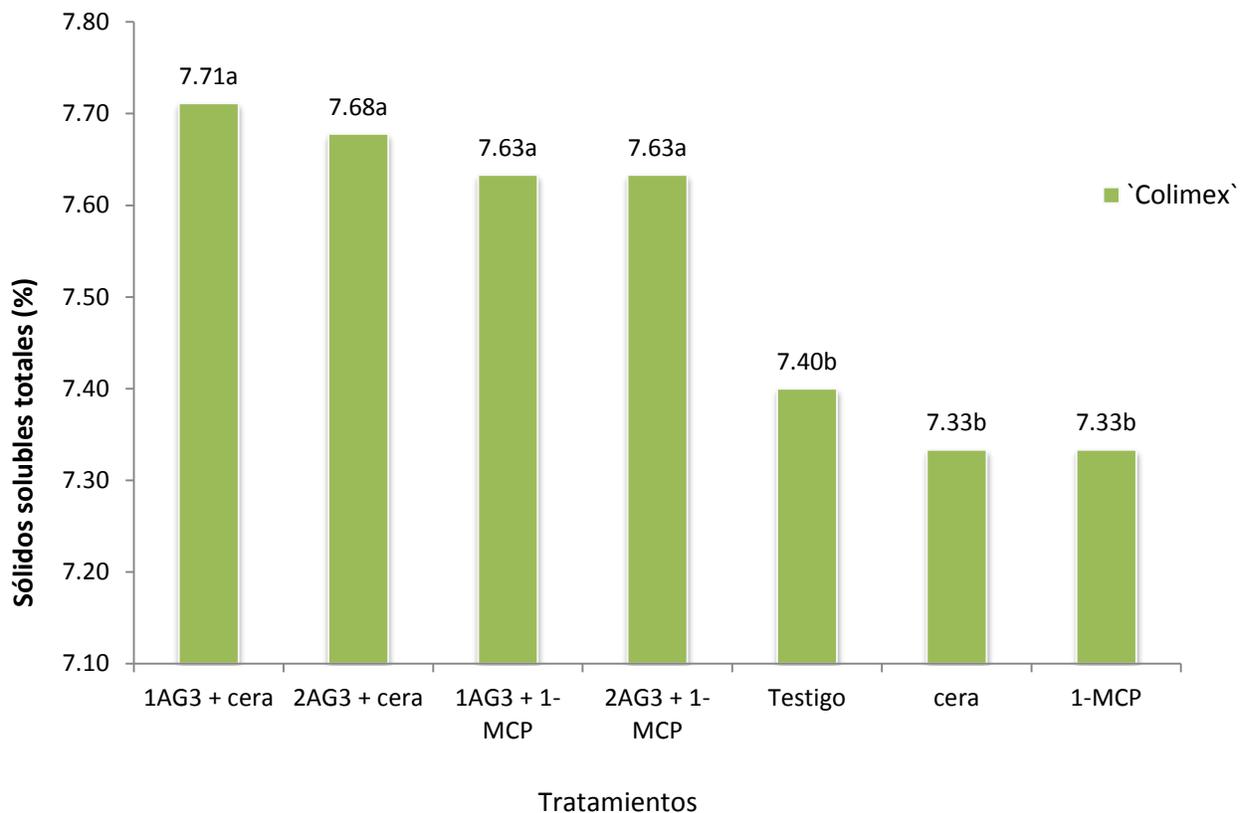


Figura 24. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido de sólidos solubles totales (%) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimex'.

Medias con las mismas letras entre barras no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

De igual forma en la variedad 'Lise' las aplicaciones en precosecha de AG3 a los frutos de limón mexicano combinados con cera o 1-MCP en postcosecha fueron significativamente ($p \leq 0.05$) más altos que, el testigo y los tratamientos con sólo aplicación postcosecha de cera o 1-MCP (Figura 25).

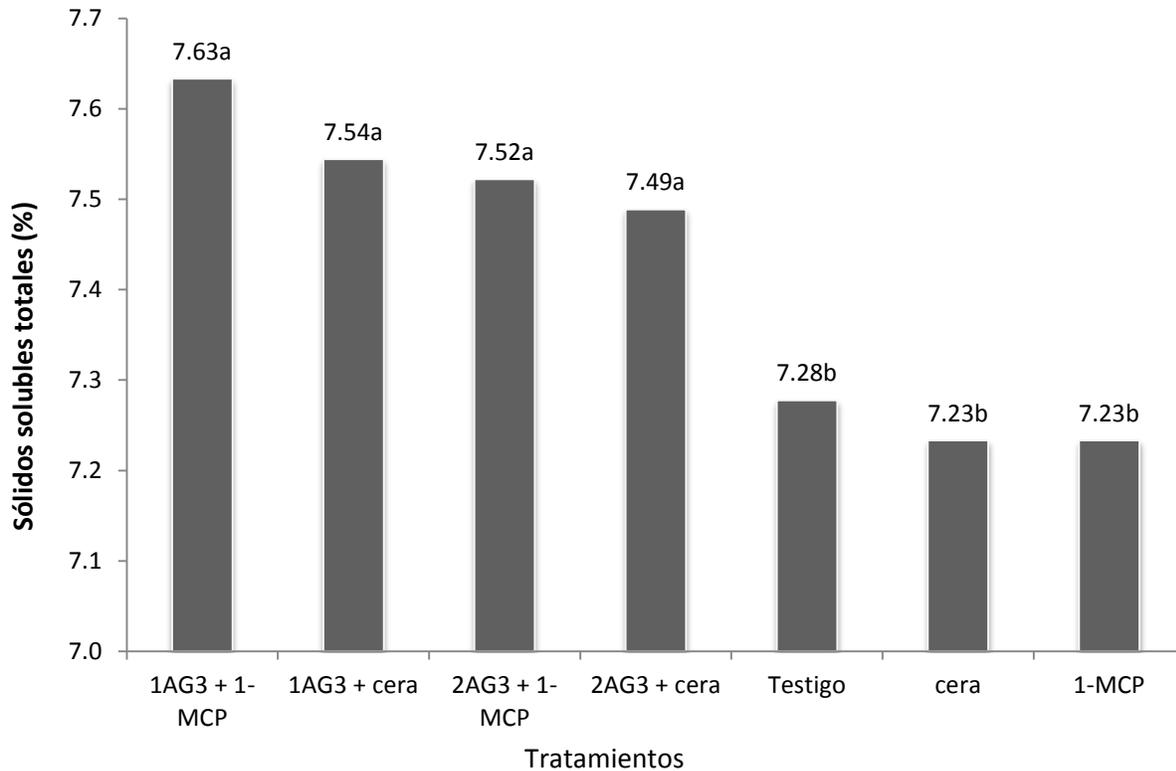


Figura 25. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido de sólidos solubles totales (%) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.

Medias con las mismas letras entre barras no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

La variedad 'Colimon' no presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre sus tratamientos. Las variedades 'Colimex' y 'Lise' mostraron resultados significativamente ($p \leq 0.05$) iguales en los tratamientos realizados con sólo aplicaciones en postcosecha (cera y MCP) así como en el testigo, y significativamente menores al resto de los tratamientos de estas variedades (Cuadro 15).

Por otro lado, pese a que en 'Colimon' no se encontraron diferencias significativas entre sus tratamientos, los valores obtenidos por estos fueron significativamente iguales al testigo y a los tratamientos en postcosecha (cera y 1-MCP) de las variedades 'Colimex' y 'Lise' (Cuadro 15).

En el factor días de evaluación se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre el día 5 y el 10. El porcentaje de sólidos solubles totales disminuyó progresivamente al final de la evaluación del día 10 (Cuadro 21).

La interacción variedad por días de evaluación mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el contenido de sólidos solubles, inicialmente 'Colimex' tuvo la mayor cantidad de sólidos solubles totales seguida de 'Lise' y 'Colimon' (Figura 26) en el día 5 de almacenamiento nuevamente 'Colimex' mostró el valor más alto de sólidos solubles, mientras que 'Lise' y 'Colimon' fueron significativamente ($p \leq 0.05$) iguales este comportamiento se relaciona a que esta variedad tiene las mismas características morfológicas de la variedad comercial. La fruta, mantiene las características de forma, tamaño, sabor y la alta calidad química (Robles-González *et al.*, 2010). En el día 10, las variedades 'Colimex' y 'Lise' fueron significativamente mayor en sólidos solubles que 'Colimon' (Figura 26).

Cuadro 15. Contenido sólidos solubles totales en los diferentes tratamientos de tres variedades de limón mexicano.

Variedad	Tratamiento	Sólidos solubles totales (%)
'Colimex'	1AG3 + cera	7.71a
'Colimex'	2AG3 + cera	7.68a
'Colimex'	1AG3 + 1-MCP	7.63ab
'Colimex'	2AG3 + 1-MCP	7.63ab
'Colimex'	Testigo	7.40c
'Colimex'	Cera	7.33c
'Colimex'	1-MCP	7.33c
'Lise'	1AG3 + cera	7.54b
'Lise'	2AG3 + cera	7.49bc
'Lise'	1AG3 + 1-MCP	7.63ab
'Lise'	2AG3 + 1-MCP	7.52b
'Lise'	Testigo	7.28c
'Lise'	Cera	7.23c
'Lise'	1-MCP	7.23c
'Colimon'	1AG3 + cera	7.39c
'Colimon'	2AG3 + cera	7.44bc
'Colimon'	1AG3 + 1-MCP	7.42bc
'Colimon'	2AG3 + 1-MCP	7.44bc
'Colimon'	Testigo	7.28c
'Colimon'	Cera	7.22c
'Colimon'	1-MCP	7.33c

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

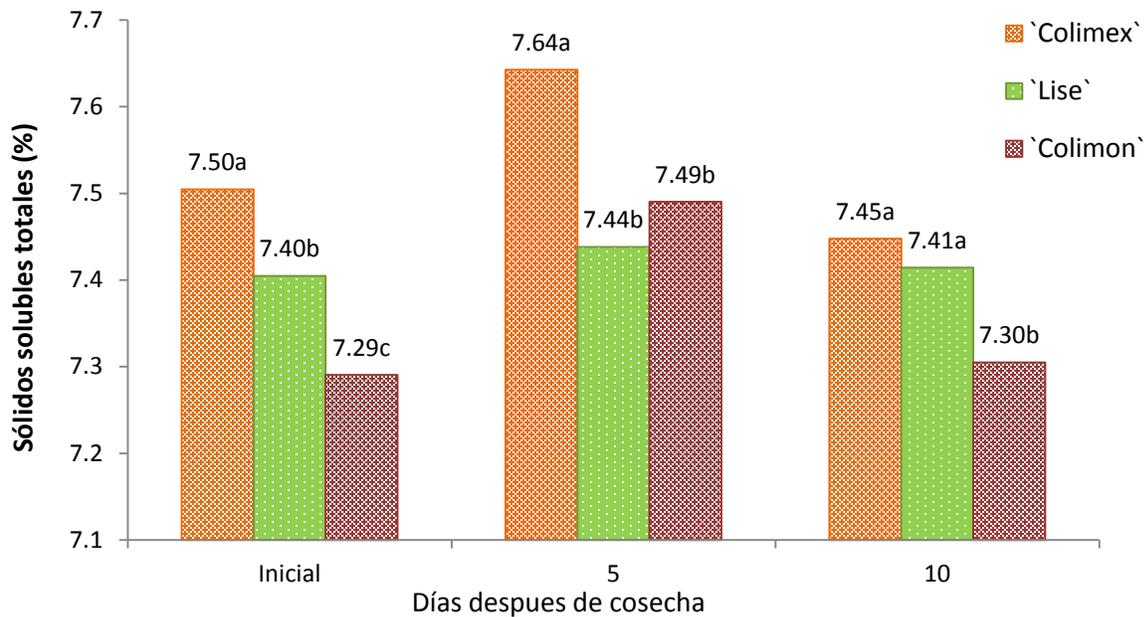


Figura 26. Efecto de la interacción variedad por días de evaluación en el contenido de sólidos solubles totales (%) en frutos de tres variedades de limón mexicano.

Medias con las mismas letras por días de almacenamiento no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

De la misma manera, la interacción tratamiento por días de evaluación, muestra que en la evaluación inicial, no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el porcentaje de sólidos solubles entre tratamientos, sin embargo; para el día 5 de almacenamiento, los tratamientos con aplicaciones precosecha de ácido giberélico más encerado y 1-MCP, en postcosecha (2AG3 + 1-MCP, 1AG3 + 1-MCP, 2AG3 + cera y 1AG3 + cera) reportan los niveles más altos de sólidos solubles (7.71, 7.69, 7.67 y 7.66%, respectivamente) hallándose diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con los que sólo fueron tratados con 1-MCP y cera, en postcosecha (cera, 1-MCP y Testigo), (Figura 27), la tendencia se mantuvo en la evaluación final. Esto tiene similitud con lo reportado

por Braddock (1999), quien reportó un incremento en sólidos solubles totales en frutos de naranja tratados con ácido giberélico.

Una disminución en el contenido de sólidos solubles totales muestra el deterioro cualitativo del fruto, esta disminución se ve reflejada en los valores del día 10 (Figura 27).

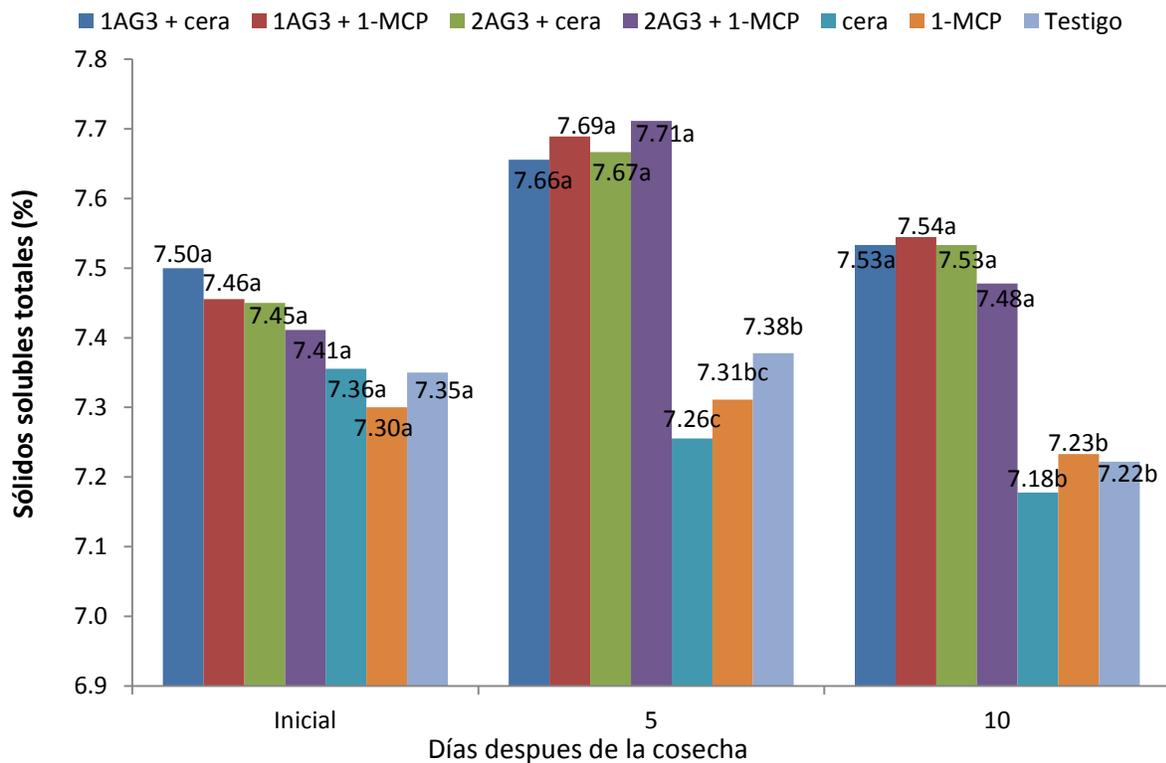


Figura 27. Efecto de la interacción tratamiento por días de evaluación en el contenido de sólidos solubles totales (%) en frutos de tres variedades de limón mexicano.

Medias con la misma letra por día de almacenamiento no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

4.2.3. Acidez titulable

El contenido de acidez titulable (ácido cítrico) en la variedad 'Colimon' fue menor que en 'Lise' y 'Colimex', mientras que estas dos alcanzaron el porcentaje más alto de ácido cítrico y significativamente ($p \leq 0.05$) no mostraron diferencia alguna (Cuadro 21).

En la evaluación inicial de ácido cítrico y en el día 5 de almacenamiento no se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Cuadro 21). Sin embargo, en el último día de evaluación (día 10) el porcentaje de ácido cítrico aumentó significativamente. El aumento del ácido cítrico se relaciona con una concentración de éste al prolongarse el tiempo de almacenamiento y presentarse mayores pérdidas de agua por transpiración (Echeverría e Ismail, 1987).

El factor tratamiento, las interacciones variedad por tratamiento, variedad por días de evaluación, tratamiento por días de evaluación y variedad por tratamiento por días de evaluación, no reflejaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), lo que figura que las diferentes aplicaciones y concentraciones de ácido giberélico en precosecha y el encerado y 1-MCP, en postcosecha no tuvo efecto en el contenido de ácido cítrico.

Respuesta similar a la encontrada por Martínez y Villegas. (2000), donde no encontraron diferencias significativas en frutos de naranja 'Valencia Tardía' con aplicación precosecha de ácido giberélico a pH 3,5 y 7, para las variables: sólidos solubles, acidez titulable y ácido ascórbico.

4.2.4. Ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico, se vió afectado por los factores tratamiento y días de evaluación y por las interacciones variedad por tratamiento, variedad por días de evaluación y variedad por tratamiento por días de evaluación ($p \leq 0.05$). Sin embargo, no se vió afectado por la variedad ni por la interacción tratamiento por días de evaluación (Cuadro 20).

En promedio el tratamiento con mayor contenido de ácido ascórbico fue dos aplicaciones de AG3 más 1-MCP (2AG3 + 1-MCP) (38.36 mg / 100 mL de jugo) que fue estadísticamente más alto que los tratamientos con una aplicación precosecha de AG3 más cera (1AG3 + cera), aplicación postcosecha de 1-MCP, aplicación postcosecha de cera y el testigo (Figura 28).

Conforme transcurrió el período de almaceamiento (días), el contenido de ácido ascórbico aumentó de 32.55 mg de ácido ascórbico / 100 mL de jugo, en la evaluación inicial a 40.04 mg de ácido ascórbico / 100 mL de jugo en el día 10. Al respecto, Saucedo-Velóz y Medina-Urrutia, (2008), reportan que los frutos de limón mexicano cosechados cuando han alcanzado color amarillo, presentan un menor contenido de ácido ascórbico, lo que sugiere que las pérdidas de esta vitamina están relacionadas con cambios en el grado de madurez de los frutos de limón mexicano, siendo mayor en frutos en estado verde y menor en amarillos.

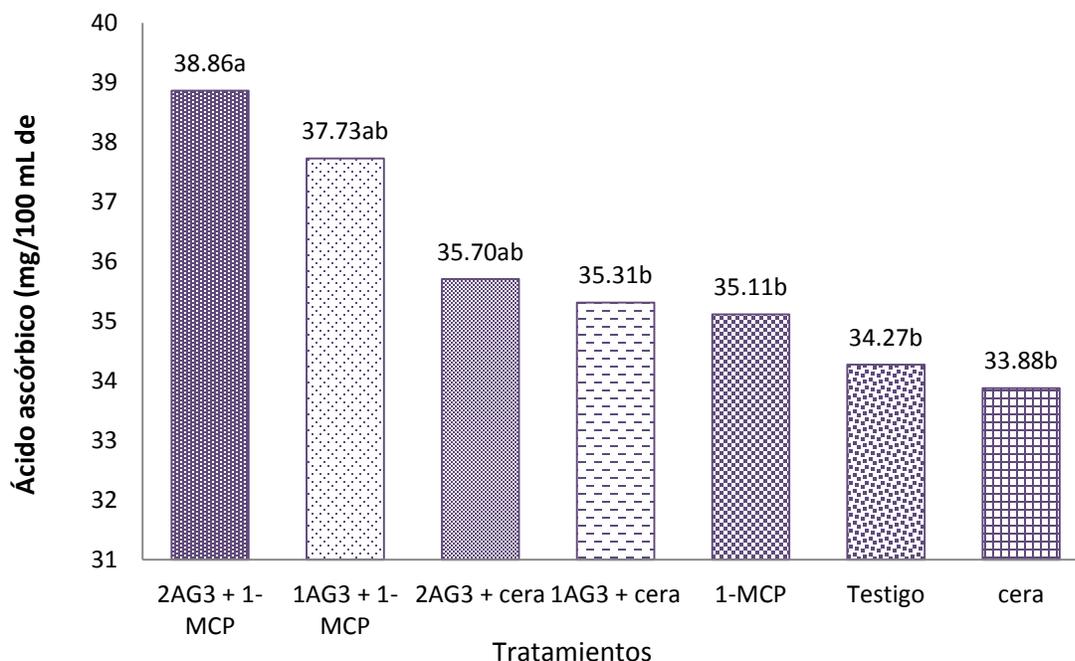


Figura 28. Efecto del tratamiento en el contenido ácido ascórbico (mg / 100 mL de jugo) en frutos de limón mexicano.

Promedio de tres variedades. Medias con las mismas letras entre barras no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación pre cosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

Al realizar la interacción variedad por tratamiento, no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos para la variedad 'Colimex'. En la variedad 'Lise' los tratamientos con dos aplicaciones de AG3 más cera (2AG3 + cera) y dos aplicaciones de AG3 más 1-MCP (2AG3 + 1-MCP) fueron significativamente ($p \leq 0.05$) mayores en contenido de ácido ascórbico que el testigo y los tratamientos con sólo aplicaciones postcosecha de cera y 1-MCP (Figura 29). Una aplicación de AG3 más cera (1AG3 + cera) y una aplicación de AG3 más 1-MCP (1AG3 + 1-MCP) no presentaron diferencia significativa con el resto de los tratamientos (Figura 29).

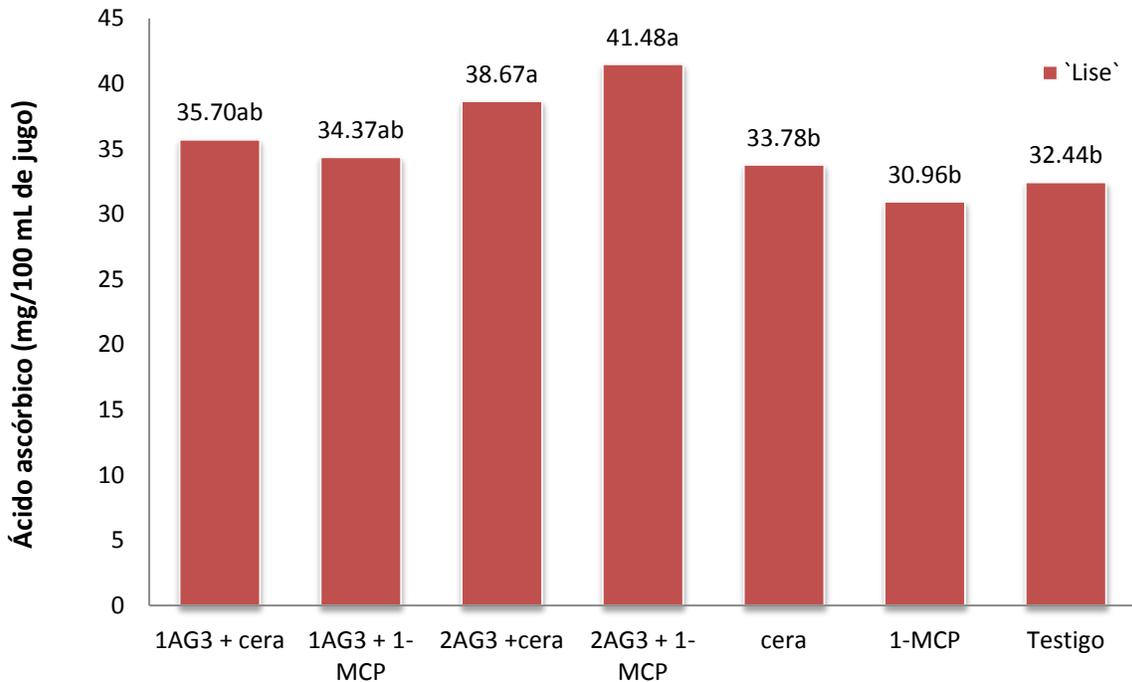


Figura 29. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido ácido ascórbico (mg / 100 mL de jugo) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.

Medias con las mismas letras entre barras no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

En 'Colimon' el tratamiento con una aplicación de AG3 más 1-MCP fue significativamente ($p \leq 0.05$) mayor que el testigo, una aplicación de AG3 más cera (1AG3 + cera) y los tratamientos con aplicaciones postcosecha de cera y 1-MCP (Figura 30), los tratamientos con dos aplicaciones de AG3 más cera y 1-MCP (2AG3 + cera y 2AG3 + 1-MCP) no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con el resto (Figura 30).

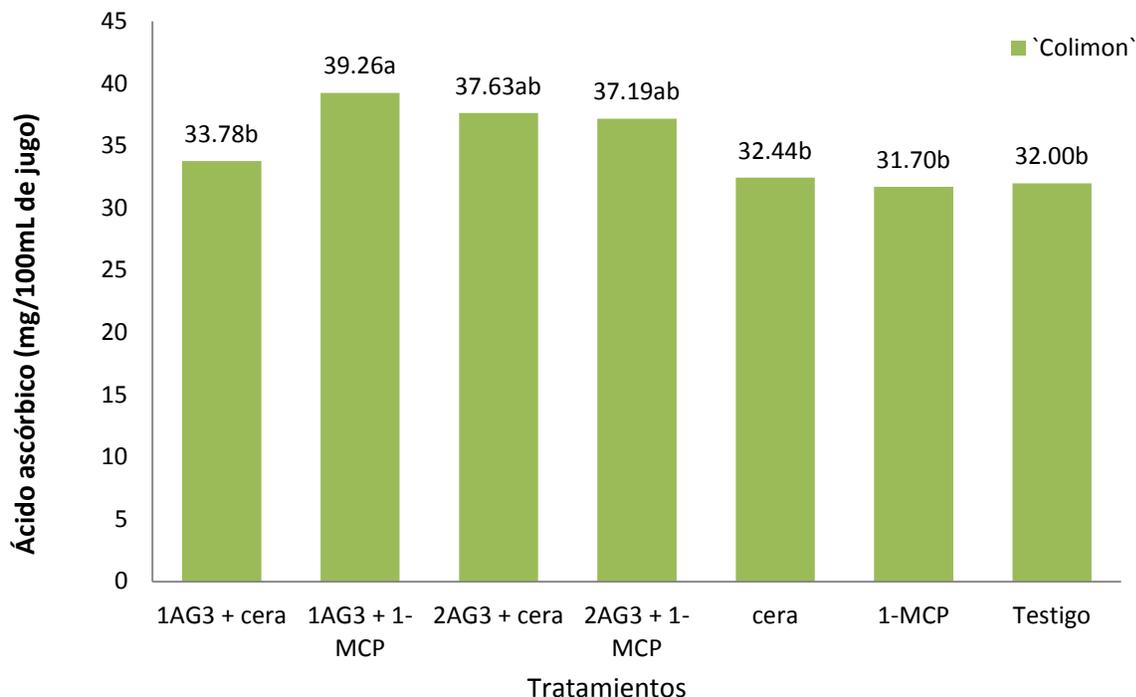


Figura 30. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido ácido ascórbico (mg / 100 mL de jugo) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimon'.

Medias con las mismas letras entre barras no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

Los tratamientos con aplicaciones en precosecha AG3 más cera o 1-MCP en postcosecha de la variedad 'Colimex', dos aplicaciones de AG3 más 1-MCP (2AG3 + 1-MCP) y dos aplicaciones de AG3 más cera (2AG3 + cera) de la variedad 'Lise' y por último sólo aplicación postcosecha de 1-MCP de la variedad 'Colimon' fueron significativamente mayores ($p \leq 0.05$) en ácido ascórbico que una aplicación de AG3 más cera (1AG3 + cera) de la variedad 'Colimon', que el testigo y de aquellos que sólo

fueron tratados en postcosecha con cera o 1-MCP de las variedades 'Lise' y 'Colimon' (Cuadro 16).

Cuadro 16. Contenido de ácido ascórbico en los diferentes tratamientos de tres variedades de limón mexicano.

Variedad	Tratamiento	Ácido ascórbico (mg/100 mL de jugo)
'Colimex'	1AG3 + cera	39.70a
'Colimex'	1AG3 + 1-MCP	39.56a
'Colimex'	2AG3 +cera	38.52a
'Colimex'	2AG3 + 1-MCP	37.93a
'Colimex'	cera	35.41ab
'Colimex'	1-MCP	34.96ab
'Colimex'	Testigo	35.11ab
'Lise'	1AG3 + cera	35.70a
'Lise'	1AG3 + 1-MCP	34.37a
'Lise'	2AG3 +cera	38.67a
'Lise'	2AG3 + 1-MCP	41.48a
'Lise'	cera	33.78b
'Lise'	1-MCP	30.96b
'Lise'	Testigo	32.44b
'Colimon'	1AG3 + cera	33.78b
'Colimon'	1AG3 + 1-MCP	39.26a
'Colimon'	2AG3 + cera	37.63ab
'Colimon'	2AG3 + 1-MCP	37.19ab
'Colimon'	cera	32.44b
'Colimon'	1-MCP	31.70b
'Colimon'	Testigo	32.0b

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

Al analizar la interacción variedad por días de evaluación , se encontró en la evaluación inicial, que las variedades 'Colimex' y 'Colimon' mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre ellas, obteniendo valores de 34.48 y 30.22 mg de ácido ascórbico / 100 mL de jugo, respectivamente (Figura 31). .Los resultados en el día 5, mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$); encontrándose que la variedad 'Colimex' alcanzó el contenido más alto de ácido ascórbico (38.16 mg / 100 mL de jugo) en comparación con 'Lise' y 'Colimon' (Figura 31). La evaluación del día 10, no mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

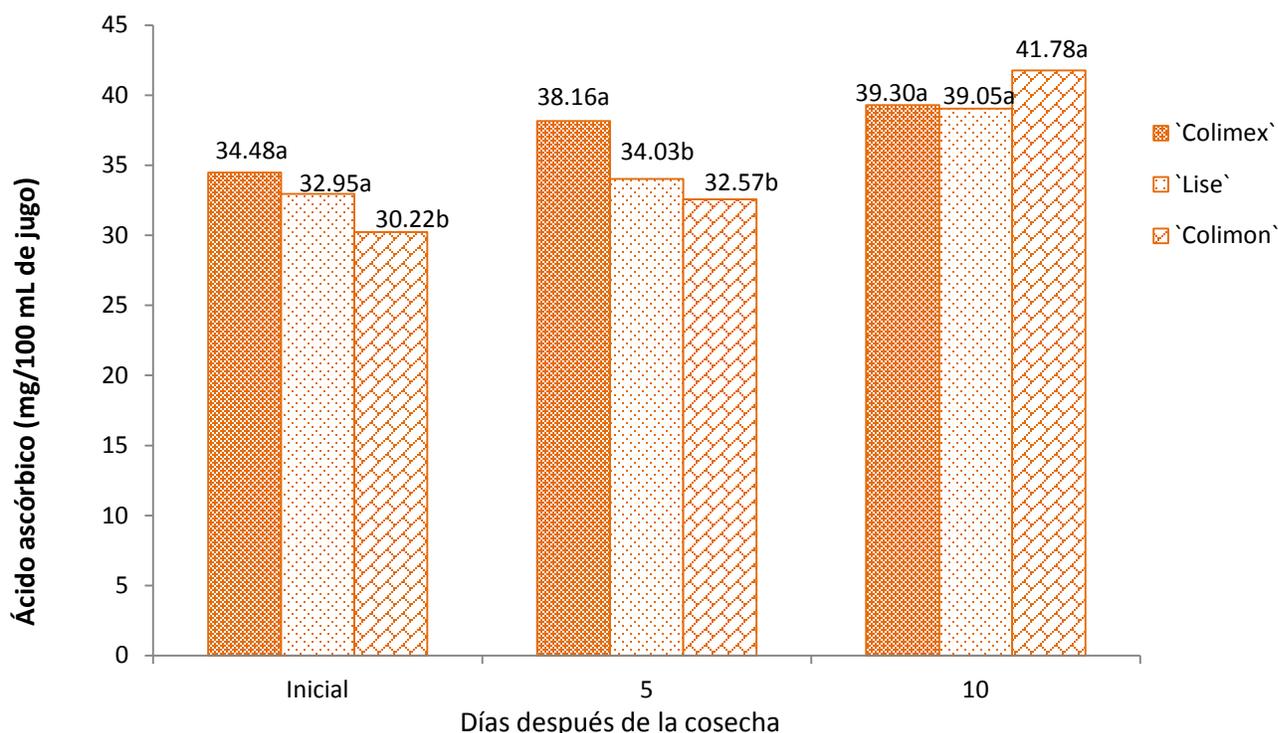


Figura 31. Efecto de la interacción variedad por días de evaluación en el contenido de ácido ascórbico(mg / 100 mL de jugo) en frutos de tres variedades de limón mexicano a través del tiempo de almacenamiento.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

4.2.5. Clorofila en la cáscara

La variedad 'Colimon' alcanzó el contenido de clorofila más bajo (0.83 mg/100 g) comparado con 'Lise' (0.95 mg/100 g) y 'Colimex' (0.90 mg/100 g) (Cuadro 21). En lo que respecta al factor tratamiento se observó que el tratamiento de dos aplicaciones de AG3 más cera y una aplicación de AG3 más cera (2AG3 + cera y 1AG3 + cera) fueron significativamente ($p \leq 0.05$) mayor en el contenido de clorofila que una aplicación de AG3 más 1-MCP (1AG3 + 1-MCP), así como del testigo y de aquellos que solo fueron tratados en postcosecha con cera y 1-MCP (Figura 32).

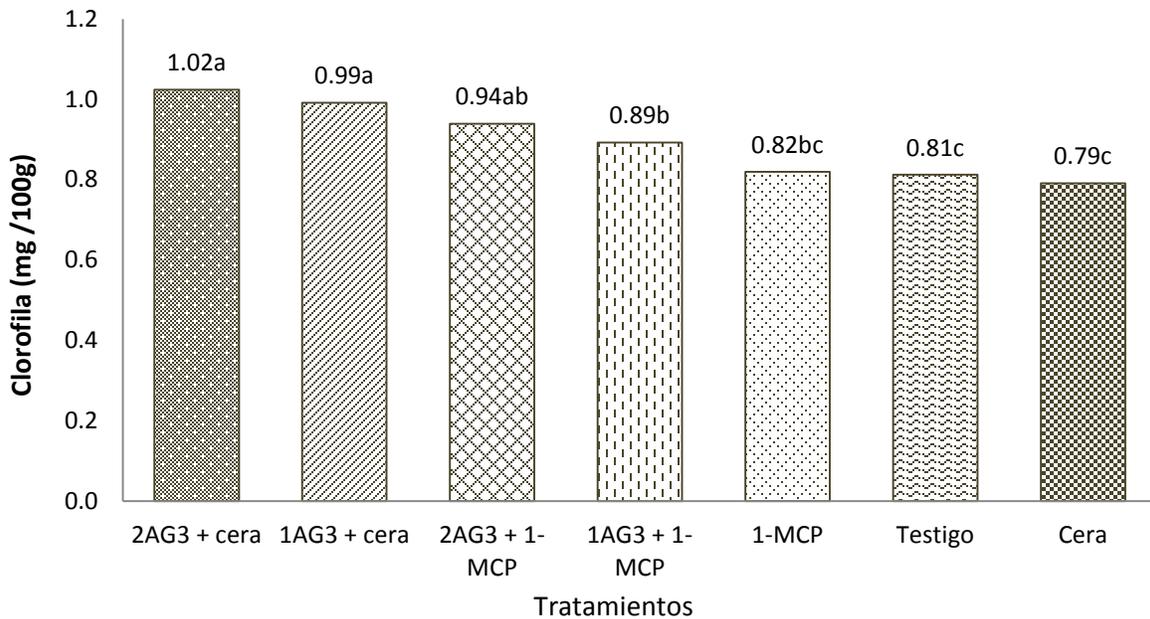


Figura 32. Efecto promedio del tratamiento en el contenido de clorofila (mg / 100 g) en frutos de tres variedades de limón mexicano.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).
* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

El contenido de clorofila se vio afectado por el tiempo de almacenamiento, habiendo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en todas las evaluaciones realizadas, donde el valor inicial fue de $1.05 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, al día 5 de $0.85 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ y finalizando con un valor de $0.79 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ (Cuadro 21).

La interacción variedad por tratamiento no arrojó ninguna significancia ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos de la variedad 'Colimex', de igual forma, en 'Lise' no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre éstos, sin embargo; en la variedad 'Colimon', el valor más bajo de clorofila fue para el testigo y los tratamientos con sólo aplicaciones postcosecha de cera y 1-MCP (Figura 33) comparados, con dos aplicaciones de AG3 más cera (2AG3 + cera) que mostró un valor significativamente ($p \leq 0.05$) más alto (Figura 33).

El menor contenido de clorofila se presentó en los tratamientos sin aplicación de AG3 en precosecha en la variedad 'Colimon' los cuales presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con el resto (Cuadro 17). Lewis y Coggins (1964) mencionaron que el AG3 amplía el período de síntesis de clorofila y retarda la biosíntesis de carotenoides a nivel flavedo, apareciendo un retraso por consiguiente en la maduración externa del fruto, caracterizado por una degradación más lenta de las clorofilas de la cáscara (Agustí y Almela, 1988).

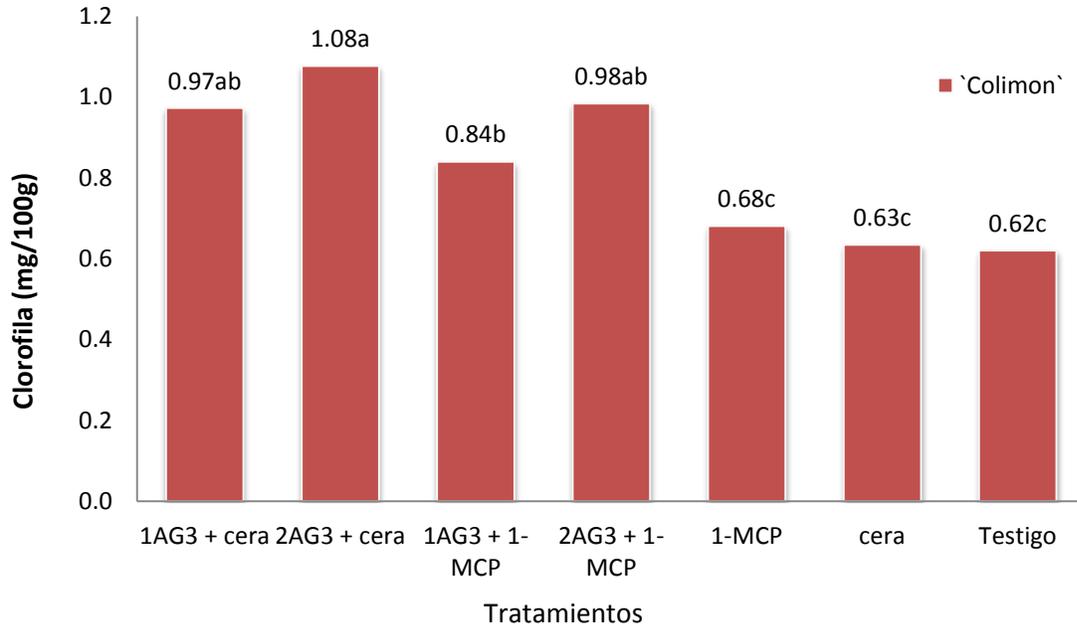


Figura 33. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el contenido de clorofila (mg / 100 g) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimon'.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

La interacción tratamiento por días de evaluación mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el día 5 de evaluación, la aplicación de AG3 en precosecha combinado con cera o 1-MCP en postcosecha y sólo aplicaciones en postcosecha de cera mostraron los valores más altos de clorofila (Figura 34) mientras que solo aplicación de 1-MCP en postcosecha y el testigo fueron los valores más bajos para esta variable (Figura 34). Tras 10 días de almacenamiento los tratamientos con una y dos aplicaciones en precosecha de AG3 más cera en postcosecha (1AG3 + cera y 2AG3 + cera) mostraron un valor de contenido de clorofila significativamente ($p \leq 0.05$) más alto que el testigo y el tratamiento con aplicación de cera en postcosecha (Figura 34).

Cuadro 17. Contenido de clorofila en los diferentes tratamientos de tres variedades de limón mexicano.

Variedad	Tratamiento	Clorofila (mg/100g)
'Colimex'	1AG3 + cera	1.02ab
'Colimex'	2AG3 + cera	0.96ab
'Colimex'	1AG3 + 1-MCP	0.91ab
'Colimex'	2AG3 + 1-MCP	0.83b
'Colimex'	1-MCP	0.89ab
'Colimex'	cera	0.83b
'Colimex'	Testigo	0.89ab
'Lise'	1AG3 + cera	0.99ab
'Lise'	2AG3 + cera	1.03ab
'Lise'	1AG3 + 1-MCP	0.93ab
'Lise'	2AG3 + 1-MCP	1.0ab
'Lise'	1-MCP	0.89ab
'Lise'	cera	0.91ab
'Lise'	Testigo	0.93ab
'Colimon'	1AG3 + cera	0.97ab
'Colimon'	2AG3 + cera	1.08a
'Colimon'	1AG3 + 1-MCP	0.84b
'Colimon'	2AG3 + 1-MCP	0.98ab
'Colimon'	1-MCP	0.68c
'Colimon'	cera	0.63c
'Colimon'	Testigo	0.62c

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

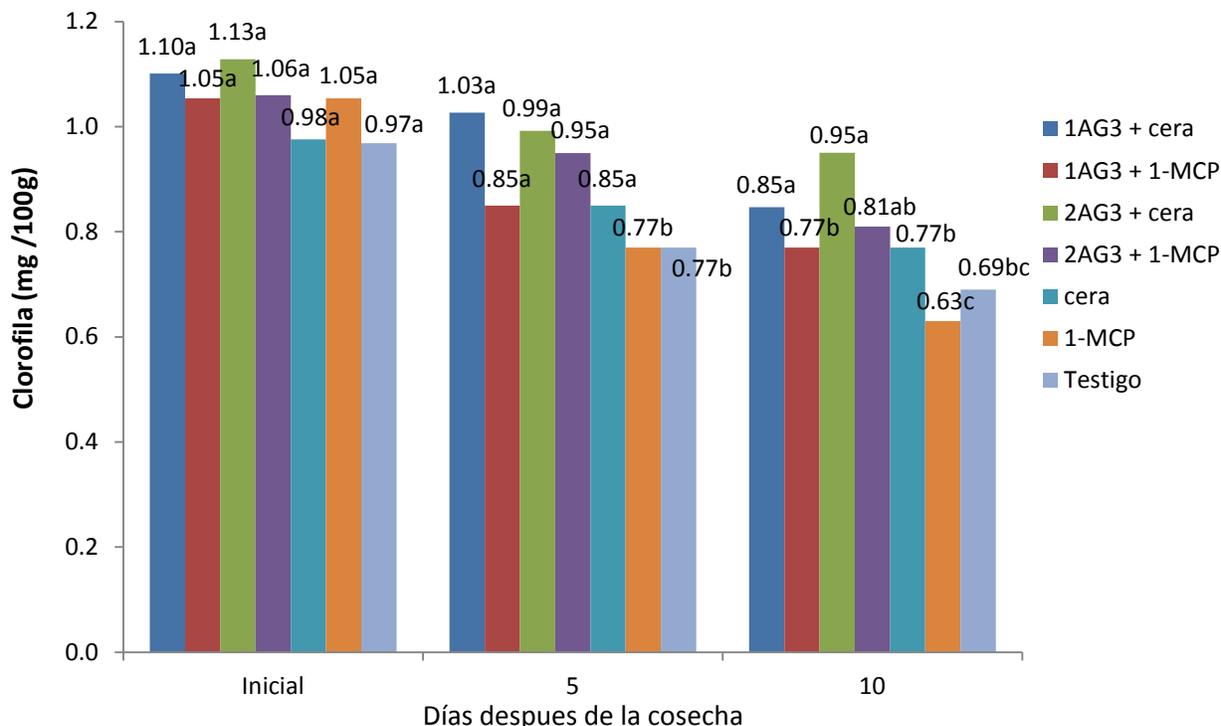


Figura 34. Efecto de la interacción tratamiento por días de evaluación en el contenido de clorofila (mg / 100 g) en frutos de limón mexicano.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

4.2.6. Acetaldehído

El contenido de acetaldehídos no se modificó por efecto de las variedades, el tratamiento y ni por las interacciones variedad por tratamiento, variedad por días de evaluación, tratamiento por días de evaluación y variedad por tratamiento por días de evaluación ($p \leq 0.05$). Sin embargo, el contenido de este compuesto se vio afectado por el tiempo de almacenamiento, encontrándose inicialmente un valor de 2.37 mg / 100 mL de jugo, y aumentó con el tiempo de almacenamiento, alcanzando un valor de 3.58

mg / 100 mL de jugo, a los 10 día (Cuadro 21). El incremento en el contenido de acetaldehído del jugo de frutos cítricos almacenados puede conducir a procesos degenerativos asociados con la senescencia (Davis, 1970; 1971). Sin embargo, pese a que se encontró acetaldehídos en los frutos de limón mexicano, la concentración de este compuesto volátil no generó sabores y aromas desagradables en el fruto. Ke y Kader (1990) estimaron que concentraciones de $20 \mu\text{L L}^{-1}$ de acetaldehído en Naranjas 'Valencia' inducen aromas y sabores desagradables. En cuanto al limón mexicano la cantidad de dicho volátil se da en menor concentración debido al bajo contenido de azúcar.

Los contenidos de etanol y acetaldehído varían en función del cultivar, grado de madurez, espesor de la capa de cera natural, senescencia y tiempo de almacenamiento (Smagula y Bramlage, 1977; Norman, 1977).

4.2.7. Pérdida de peso

Para la variable pérdida de peso, el factor variedad mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$), donde 'Colimon' tuvo el valor promedio más alto (6.84%), comparado a 'Colimex' y 'Lise' (Cuadro 21), lo que significa que tuvo significativamente una mayor pérdida de peso que las dos variedades, en relación a esto Robles et al, 2010, mencionan que los frutos de la variedad 'Colimon' son cáscara delgada y pequeños en relación a la variedad 'Colimex' y 'Lise' por tanto, son más propensos a mayores pérdidas de agua.

En el factor tratamiento se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. Las menores pérdidas de peso se encontraron en dos aplicaciones de

AG3 más cera (2AG3 + cera) y una aplicación de AG3 más cera (1AG3 + cera) comparado con el testigo que mostró el valor promedio más alto (Cuadro 21).

En la interacción variedad por tratamiento se observó que en la variedad 'Colimex' los tratamientos con aplicaciones precosecha de AG₃ mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) respecto a aquellos que solo fueron tratados con 1-MCP y cera en postcosecha, donde estos últimos registraron la mayor pérdida de peso (Figura 35).

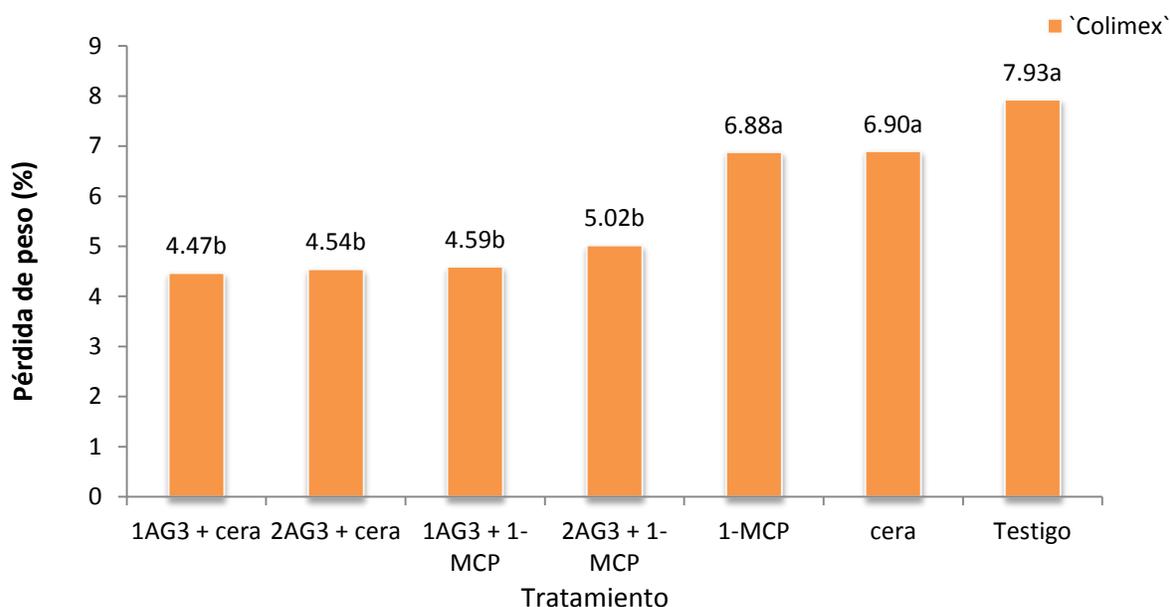


Figura 35. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en la pérdida de peso (%) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimex'.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

En la variedad 'Lise' una aplicación de AG3 más cera (1AG3 + cera), dos aplicaciones de AG3 más cera (2AG3 + cera) y una aplicación de AG3 más 1-MCP (1AG3 + 1-MCP) tuvieron una pérdida significativamente menor de peso ($p \leq 0.05$) que el tratamiento con

sólo aplicación postcosecha de 1-MCP y el testigo (Figura 36). El tratamiento de cera en postcosecha y dos aplicaciones de AG3 más 1-MCP no mostraron significancia ($p \leq 0.05$) con el resto de los tratamientos (Figura 36).

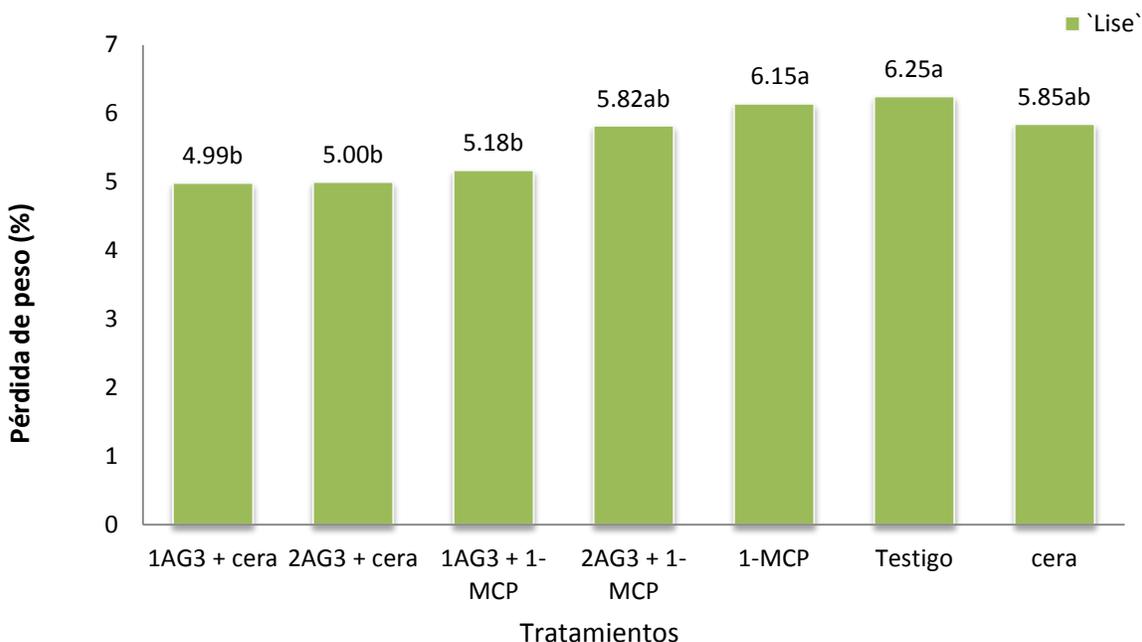


Figura 36. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en la pérdida de peso (%) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

En 'Colimon' el testigo fue significativamente ($p \leq 0.05$) mayor en pérdida de peso que los tratamientos con una aplicación de AG3 más cera (1AG3 + cera), dos aplicaciones de AG3 más cera (2AG3 + cera) y dos aplicaciones de AG3 más 1-MCP (2AG3 + 1-MCP), las aplicaciones en postcosecha de cera y 1-MCP fueron estadísticamente iguales al testigo (Figura 37).

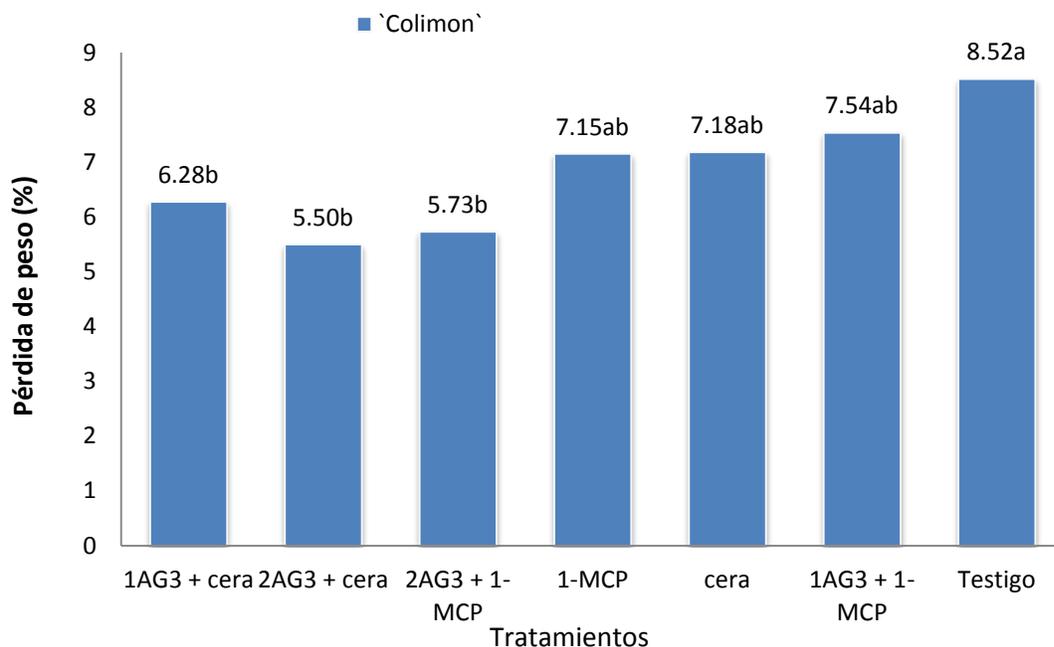


Figura 37. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en la pérdida de peso (%) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimon'.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

El tiempo de almacenamiento afectó significativamente ($p \leq 0.05$) la pérdida de agua en los frutos de limón mexicano. Se encontró que el porcentaje más alto fue para 10 días de almacenamiento con una pérdida de peso del 8% (Cuadro 21).

La interacción tratamiento por días de evaluación, fue significativa ($p \leq 0.05$). En el día 5, la aplicación de AG₃ en precosecha y de cera en postcosecha y dos aplicaciones de AG₃ más 1-MCP resultaron significativamente ($p \leq 0.05$) con una pérdida de peso menor que el testigo y el resto de los tratamientos (Figura 38).

En la evaluación final, los tratamientos con aplicaciones en precosecha de AG3 más cera o 1-MCP en postcosecha resultaron con la menor pérdida de peso que el testigo y los tratamientos con sólo aplicaciones postcosecha (Figura 38). El-Otmani y Coggins (1991) indican que las aplicaciones de AG₃ a cítricos en precosecha retrasan su maduración y senescencia, mientras que Petracek et al. (1998) mencionan que la pérdida de peso por transpiración de agua existente, se produce principalmente en las células de la piel, flavedo y albedo del fruto, considerando que la cera promueve un revestimiento en la piel del fruto, bloquea los estomas y promueve de alguna manera una modificación en el intercambio de gases, esto permite que haya una reducción mayor en la transpiración del fruto. Conociendo los efectos de los factores principales se observa claramente que la combinación de AG3 en precosecha y cera en postcosecha, actúan sinérgicamente manteniendo menores pérdidas de agua en frutos de limón mexicano. Resultados por Álvarez-Armenta et al. (2010) reportan resultados similares con aplicaciones de AG3 más cera los cuales presentaron menores pérdidas de peso (8.7 a 9.9 %) respecto al testigo (12.4%) después de 35 días de almacenamiento refrigerado.

La interacción variedad por tratamiento por días de evaluación fue significativa ($p \leq 0.05$) para la pérdida de peso. Al finalizar el periodo de almacenamiento los tratamientos que presentaron menor pérdida de peso fueron aquellos a los cuales se les aplicó AG3 en precosecha más cera y 1-MCP en postcosecha, correspondientes de la variedad 'Colimex' y 'Lise' quienes también fueron significativamente iguales a dos aplicaciones de AG3 más cera y dos aplicaciones de AG3 más 1-MCP (2AG3 +cera y 2AG3 + 1-MCP) de la variedad 'Colimon' (Cuadro 18).

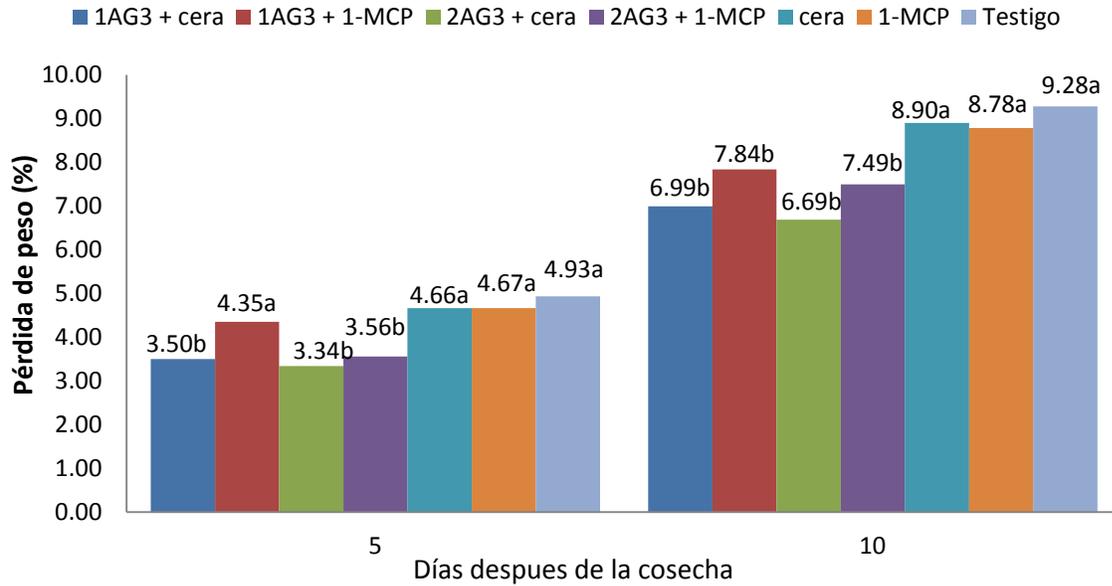


Figura 38. Efecto de la interacción tratamiento por días de evaluación en la pérdida de peso (%) en frutos de limón mexicano.

Medias con la misma letra entre tratamientos por día de almacenamiento no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

El AG₃ solo o en combinación de BA, permite lograr un retraso en la maduración y en la senescencia de cítricos (Coggins y Hield, 1958; Goldschmidt, 1997), lo que significa que al retrasar la senescencia del fruto hay una disminución en la pérdida de calidad del mismo y que a su vez, se ve reflejado en la disminución de pérdida de peso.

Cuadro 18. Pérdida de peso en tratamientos de tres variedades de limón mexicano.

Variedad	Tratamiento	Pérdida de peso (%)
'Colimex'	Testigo	10.29a
'Colimex'	1-MCP	9.18a
'Colimex'	cera	9.10a
'Colimex'	2AG3 + 1-MCP	6.47b
'Colimex'	1AG3 + 1-MCP	6.12b
'Colimex'	2AG3 + cera	6.06b
'Colimex'	1AG3 + cera	5.96b
'Lise'	Testigo	8.37a
'Lise'	1-MCP	7.86a
'Lise'	cera	8.22a
'Lise'	2AG3 + 1-MCP	7.57ab
'Lise'	1AG3 + 1-MCP	6.90b
'Lise'	2AG3 + cera	6.67b
'Lise'	1AG3 + cera	6.65b
'Colimon'	Testigo	9.97a
'Colimon'	1-MCP	9.31a
'Colimon'	cera	9.38a
'Colimon'	2AG3 + 1-MCP	7.64ab
'Colimon'	1AG3 + 1-MCP	10.50a
'Colimon'	2AG3 + cera	7.33ab
'Colimon'	1AG3 + cera	8.37a

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

4.2.8. Índice de color

Para esta variable, el factor variedad mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$), donde 'Colimon' tuvo el valor más positivo (-13.87), comparado con 'Colimex' y 'Lise' (Cuadro 21). El índice de color ($IC = 1000a/L*b$) que suele presentar una alta correlación con la apreciación visual del color (Cuquerella et al. 2004), los valores de IC más negativos representan una tonalidad aún más verde.

Así mismo, se encontraron diferencias significativas en el factor tratamiento, donde los tratamientos con aplicaciones en precosecha de AG3 combinados con cera o 1-MCP en postcosecha (Figura 39) fueron significativamente ($p \leq 0.05$) más negativos en comparación al testigo, 1-MCP y cera (Figura 39). Lewis et al. (1967) han encontrado que las giberelinas inducen un retardo de la degradación de clorofila en el flavedo de cítricos y en el desarrollo de la senescencia.

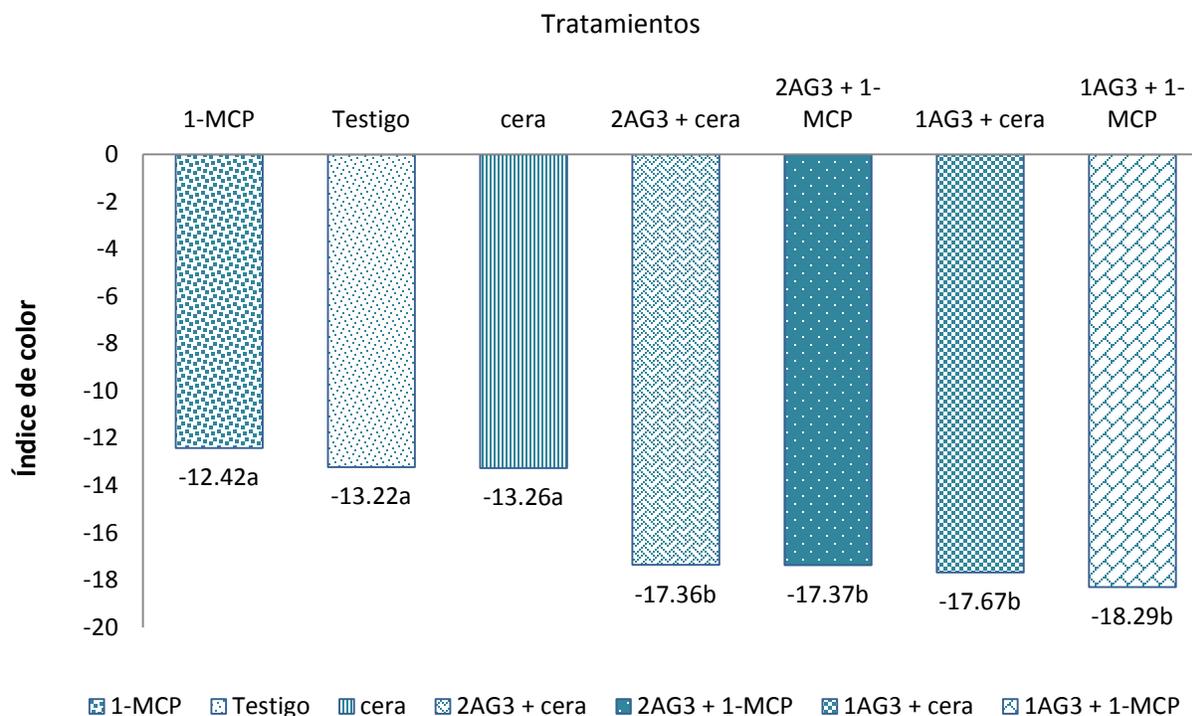


Figura 39. Efecto del tratamiento en el índice de color ($1000a/L^*b$) en frutos de limón mexicano.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

La interacción variedad por tratamiento fue significativa ($p \leq 0.05$) de tal forma que en 'Colimex' mostró que los tratamientos con aplicación precosecha de AG3 presentaron un IC más negativo (más verde) comparados con los que no tuvieron dicha aplicación (Figura 40). Por tanto, esta variedad la aplicación precosecha de AG₃ influye en el retardo de la pérdida de color.

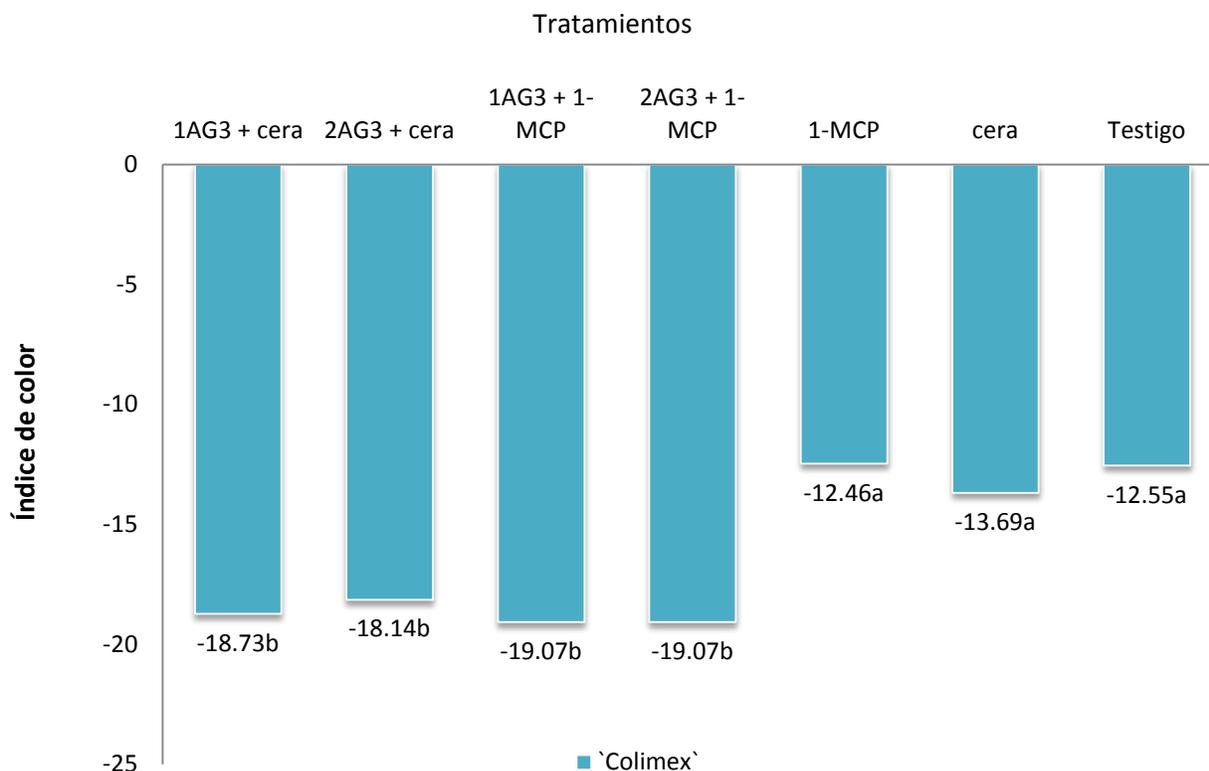


Figura 40. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el índice de color (1000a/L*b) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimex'.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

En la variedad 'Lise' el testigo fue significativamente ($p \leq 0.05$) menos negativo que los tratamientos con aplicaciones en precosecha de AG3 y del tratamiento con sólo cera en postcosecha, lo que significa que el testigo tuvo una coloración menos verde que dichos tratamientos (Figura 41).

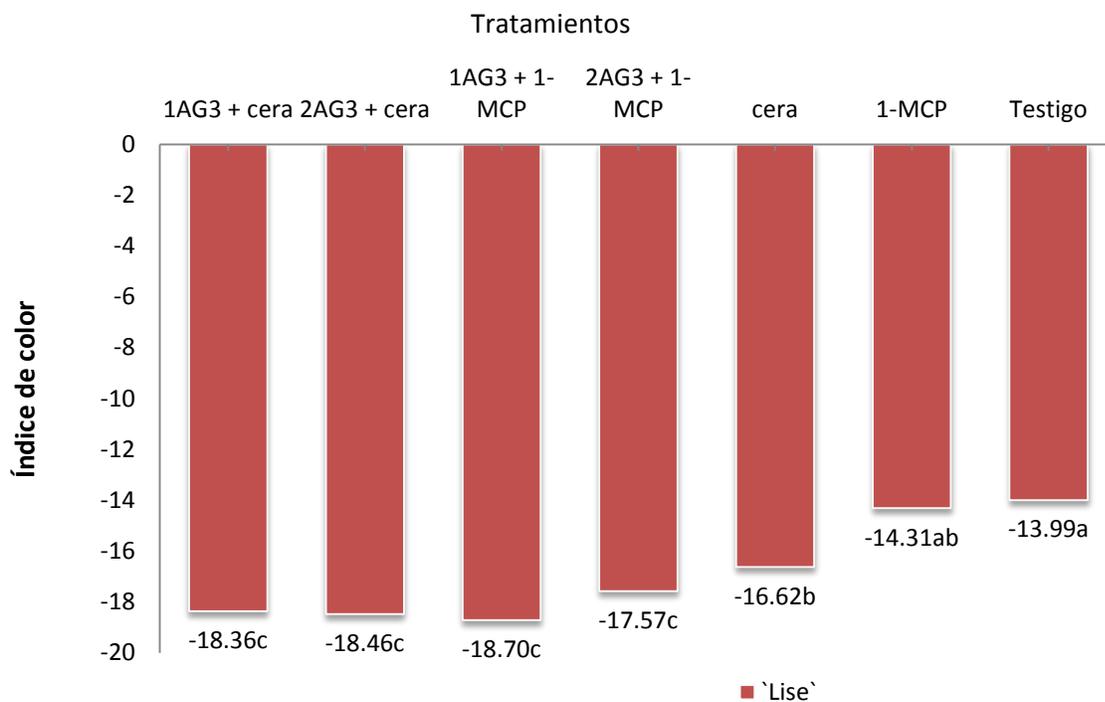


Figura 41. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el Índice de Color (1000a/L*b) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

En la variedad 'Colimon' los tratamientos con aplicaciones en precosecha de AG3 combinados con cera o 1-MCP en postcosecha resultaron con valores más negativos que el testigo y 1-MCP en postcosecha (Figura 42).

De acuerdo con Goldsmidt (1980) las giberelinas exógenas retrasan los cambios en el metabolismo de los pigmentos relacionados con el fenómeno de senescencia en la cáscara de los frutos cítricos, tanto en los que permanecen en el árbol como en postcosecha.

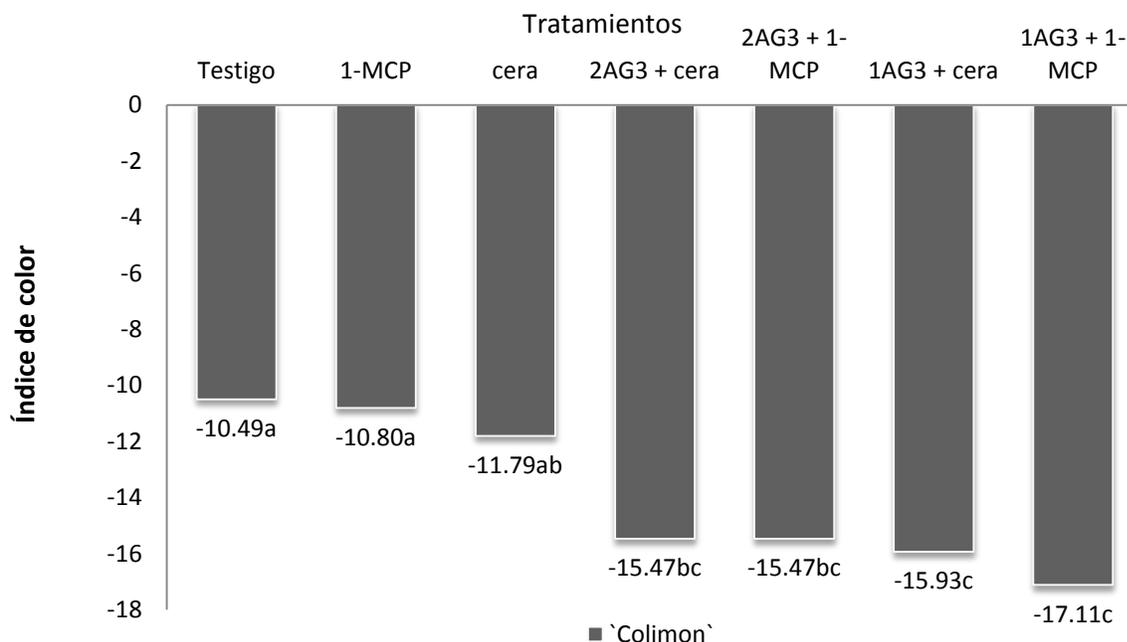


Figura 42. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el índice de vcolor (1000a/L*b) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimon'.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

El índice de color más negativo se presentó en los tratamientos con aplicaciones en precosecha de AG3 de las variedades 'Colimex' y 'Lise', seguidos por los tratamientos con AG3 de la variedad 'Colimon' y de aplicaciones en postcosecha de cera de la variedad 'Lise' (cera), por otro lado, el color menos negativo lo mostró el tratamiento con sólo 1-MCP en postcosecha y el testigo, ambos de la variedad 'Colimon', seguidos del testigo de la variedad 'Colimex' y 'Lise' y de los tratamientos con aplicaciones postcosecha de cera y 1-MCP de la variedad 'Colimex' (Cuadro 19). Las características propias de la variedad 'Colimon' hacen que tenga una pérdida de peso mayor a Colimex' y 'Lise' y considerando que la pérdida de peso por deshidratación es una de la

principales causas de deterioro en los frutos cítricos y causante además de la pérdida de apariencia (Carvalho et al., 2006) estos factores pueden estar relacionados con los resultados obtenidos en el índice de color para esta variedad.

Cuadro 19. Índice de color en tratamientos de tres variedades de limón mexicano.

Variedad	Tratamiento	Índice de color (1000a/Lb)
'Colimex'	1AG3 + cera	-18.73d
'Colimex'	2AG3 + cera	-18.14d
'Colimex'	1AG3 + 1-MCP	-19.07d
'Colimex'	2AG3 + 1-MCP	-19.07d
'Colimex'	1-MCP	-12.46b
'Colimex'	Cera	-13.69b
'Colimex'	Testigo	-12.55b
'Lise'	1AG3 + cera	-18.36d
'Lise'	2AG3 + cera	-18.46d
'Lise'	1AG3 + 1-MCP	-18.70d
'Lise'	2AG3 + 1-MCP	-17.57d
'Lise'	1-MCP	-14.31bc
'Lise'	Cera	-16.62c
'Lise'	Testigo	-13.99b
'Colimon'	1AG3 + cera	-15.93c
'Colimon'	2AG3 + cera	-15.47bc
'Colimon'	1AG3 + 1-MCP	-17.11cd
'Colimon'	2AG3 + 1-MCP	-15.47bc
'Colimon'	1-MCP	-10.80a
'Colimon'	Cera	-11.79ab
'Colimon'	Testigo	-10.49a

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

Inicialmente el índice de color de los frutos fue de -18.08 transcurridos 10 días de almacenamiento alcanzó un valor -13.88.(Cuadro 21). Como 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 y endurecimiento de la piel, reacciones de fermentación, pérdidas de valor nutricional e incremento del ataque de microorganismos causantes de pudriciones (Kader, 2002).

Se encontró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la interacción variedad por días de evaluación en la Figura 43 se puede apreciar que en la evaluación inicial el índice de color de las tres variedades fue diferente para cada una reflejando diferencias significativas entre ellas ($p \leq 0.05$), sin embargo, transcurrido el tiempo de almacenamiento, en el día 5 las tres variedades disminuyeron su tonalidad verde encontrándose que 'Colimon' reportó un IC menos negativo, en comparación con el resto, lo que significa que tuvo mayor pérdida de color, de igual manera al término de la evaluación 'Colimon' mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) respecto a 'Colimex' y 'Lise', donde éstas dos últimas alcanzaron un IC de color más negativo.

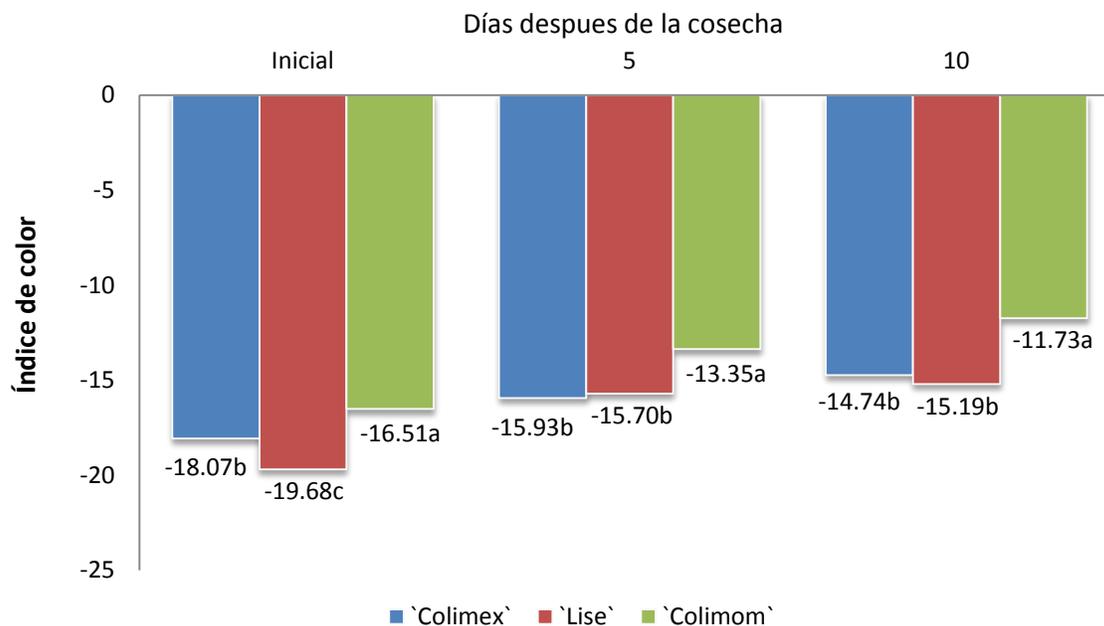


Figura 43. Efecto de la interacción variedad por días de evaluación en el índice de color (IC= 1000a/L*b) en frutos de tres variedades de limón mexicano, análisis por 10 días simulando condiciones de comercialización (22±2°C).

Medias con las mismas letras entre variedades por día no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

La interacción tratamiento por días de evaluación resultó significativa ($p \leq 0.05$), encontrándose que en la evaluación inicial los tratamientos con aplicaciones en precosecha de AG3 más cera o 1-MCP en postcosecha (1AG3 + cera, 2AG3 + cera, 1AG3 +1-MCP y 2AG3 + 1-MCP) resultaron significativamente con valores más negativos que el testigo y aquellos que sólo tuvieron aplicaciones en postcosecha de cera o 1-MCP, este comportamiento fue similar en los días 5 y 10, donde los tratamientos que mostraron mayor pérdida de color fueron: el testigo y con sólo aplicaciones en postcosecha de cera o 1-MCP (Figura 44). El-Otmani y Coggins (1991) observaron que las aplicaciones de AG₃ en mandarina 'Clementina' y en naranja

'Washington Navel' en precosecha retrasaron la senescencia y mantuvieron por mayor tiempo la calidad externa e interna de los frutos, tanto en el árbol como en el almacenamiento postcosecha.

Se esperaba que los tratamientos con 1-MCP ayudaran a reducir las pérdidas de color debido a que este producto se ha mostrado que es efectivo en retrasar e incluso detener los cambios de color en la mayor parte de frutos no climatéricos ya que su principal función es detener la senescencia (Guillén, 2009) sin embargo no fue así ya que el tratamiento con sólo aplicación de 1-MCP en postcosecha no tuvo un efecto positivo para mantener la tonalidad verde de los frutos.

4.2.9. Ceras epicuticulares

Las ceras epicuticulares desempeñan importantes funciones de protección contra estrés biótico y abiótico participan en la reducción de la transpiración y el mantenimiento del equilibrio del agua, así como en la regulación del intercambio de gases en las plantas (Jeffree, 2006).

En el presente estudio no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre los factores variedad, tratamiento, de igual forma en las interacciones variedad por tratamiento, variedad por días de evaluación, tratamiento por días de evaluación y variedad por tratamiento por días de evaluación.

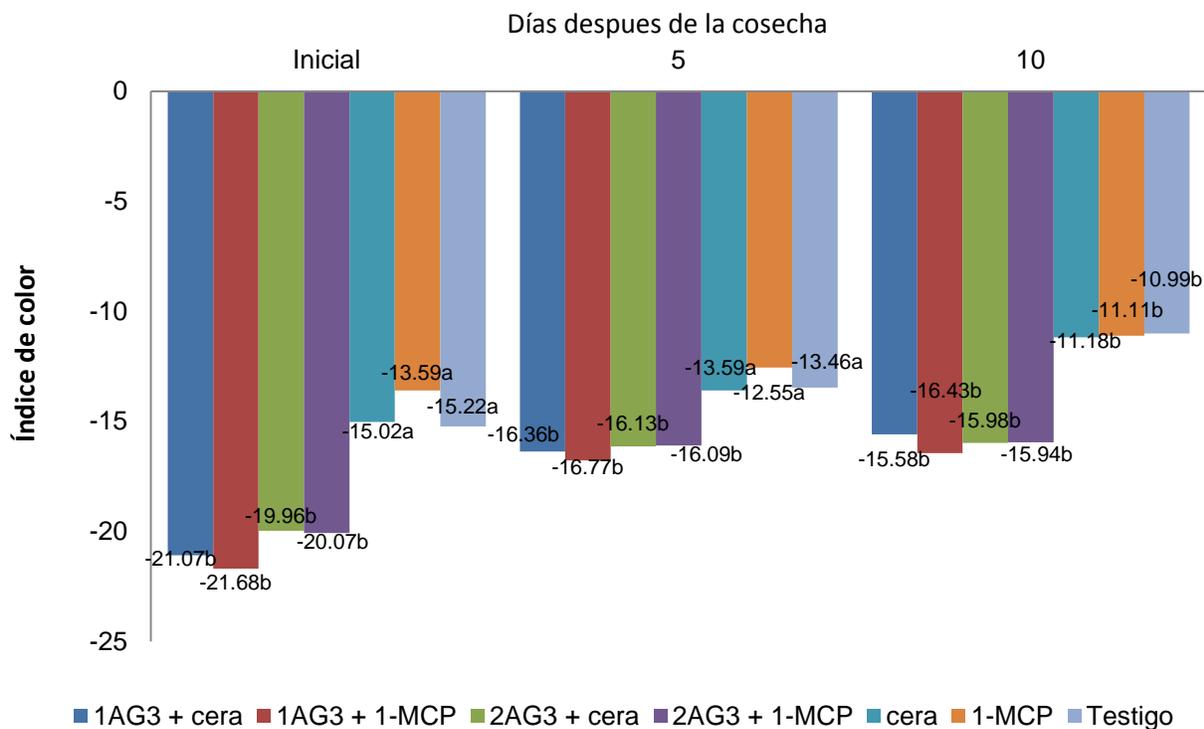


Figura 44. Efecto promedio de la interacción tratamiento por días de evaluación en el índice de color (IC= 1000a/L*b) en frutos de tres variedades de limón mexicano, análisis por 10 días simulando condiciones de comercialización (22±2°C).

Medias con la misma letra entre tratamientos por día no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

Cuadro 20. Valores P (P-value) de sólidos solubles totales, ácido cítrico, ácido ascórbico, clorofila, acetaldehído, pérdida de peso e índice de color.

Factores	Sólidos solubles totales (%)	Acidez titulable (%)	Ácido (ascórbico mg/100 mL de jugo)	Clorofila (mg/100 g)	Acetaldehído (mg/100 mL de jugo)	Pérdida de peso (%)	Índice de color IC=(1000 a/L*b)
Variedad (V)	<0.001	0.02	0.07	<0.001	0.1	<0.001	<0.001
Tratamiento (T)	<0.001	0.07	0.04	<0.001	0.06	<0.001	<0.001
V*T	0.02	0.24	0.04	<0.001	0.8	<0.001	0.04
Días de evaluación (D)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.03	<0.001	<0.001
V*D	0.006	0.72	0.02	0.09	0.63	0.06	0.004
T*D	<0.001	0.4	0.18	<0.001	0.22	0.02	<0.001
V*T*D	0.12	0.61	0.03	0.58	0.09	0.02	0.09

Cuadro 21. Efectos principales de sólidos solubles totales, ácido cítrico, ácido ascórbico, clorofila, acetaldehído, pérdida de peso e índice de color.

Factor	Sólidos solubles totales (%)	Acidez titulable (%)	Ácido ascórbico (mg/100 mL de jugo)	Clorofila (mg/100 g)	Acetaldehído (mg/100 mL de jugo)	Pérdida de peso (%)	Índice de Color (IC=1000a/L*b)
<i>Variedad</i>							
'Colimex'	7.53 a	7.46 a	37.31a	0.90 a	2.53 a	5.76 b	-16.25 b
'Lise'	7.41 b	7.52 a	35.34ab	0.95 a	2.50 a	5.60 b	-16.86 b
'Colimon'	7.36 c	7.31 b	34.85b	0.83 b	2.47 a	6.84 a	-13.87 a
<i>Tratamientos</i>							
1AG3 + cera	7.55 a	7.47 a	35.31 b	0.99 a	2.40 a	5.24 c	-17.67 b
1AG3 + 1-MCP	7.56 a	7.46 a	37.73 ab	0.89 b	2.35 a	6.10 b	-18.29 b
2AG3 + cera	7.54 a	7.59 a	35.70 ab	1.02 a	2.53 a	5.01 c	-17.35 b
2AG3 + 1-MCP	7.53 a	7.53 a	38.86 a	0.94 ab	2.48 a	5.52 b	-17.36 b
cera	7.26 b	7.24 a	33.88 b	0.79 c	2.57a	6.78 ab	-13.26 a
1-MCP	7.30 b	7.31 a	35.11 b	0.82 bc	2.44 a	6.73 ab	-12.41 a
Testigo	7.32 b	7.43 a	34.27 b	0.81 c	2.31 a	7.10 a	-13.22 a
<i>Días de evaluación</i>							
Inicial	7.40 b	7.32 b	32.55 c	1.05a	2.37 b		-18.08 c
5 días	7.52 a	7.33 b	34.92 b	0.85 b	2.41 ab	4.14 b	-15.00 b
10 días	7.39 b	7.64 a	40.04 a	0.79c	3.58 a	8.00 a	-13.88 a

Medias con las mismas letras dentro de cada columna no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm) o cera de carnauba al 14%. Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras dentro de cada columna y por factor no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

Sin embargo, conforme pasaron los días de almacenamiento el contenido de ceras epicuticulares fue en descenso mostrando en el día 5, un valor de 71.42 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ y 51.28 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ para el día 10, observándose diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre ellos.

Con relación a esta disminución en la cantidad de ceras epicuticulares Wiedermann y Neinhuis (1998) señalaron que las ceras epicuticulares se acumulan durante el crecimiento de los frutos como laminillas aplanadas, que se hacen duras y quebradizas, en la maduración se rompen y forman agregados muy pequeños por lo que disminuye su función como barrera protectora, sin embargo; en los cítricos, se ha demostrado que la cantidad, composición y estructura de la cera epicuticular varía entre los cultivares y cambia con el desarrollo del fruto, la maduración y la edad (Freeman et al., 1979 El Otmani y Coggins, 1985a y Sala et al., 1992).

4.2.10. Cutícula

En el efecto variedad no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$), sin embargo, el efecto tratamiento mostró con mayor contenido de cutícula el tratamiento de dos aplicaciones precosecha de AG₃ más cero aplicaciones de 1-MCP, en postcosecha (738.48 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) reflejando diferencias significativas ($p \leq 0.01$) con el testigo que mostró el valor más bajo (453.2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) figura 45.

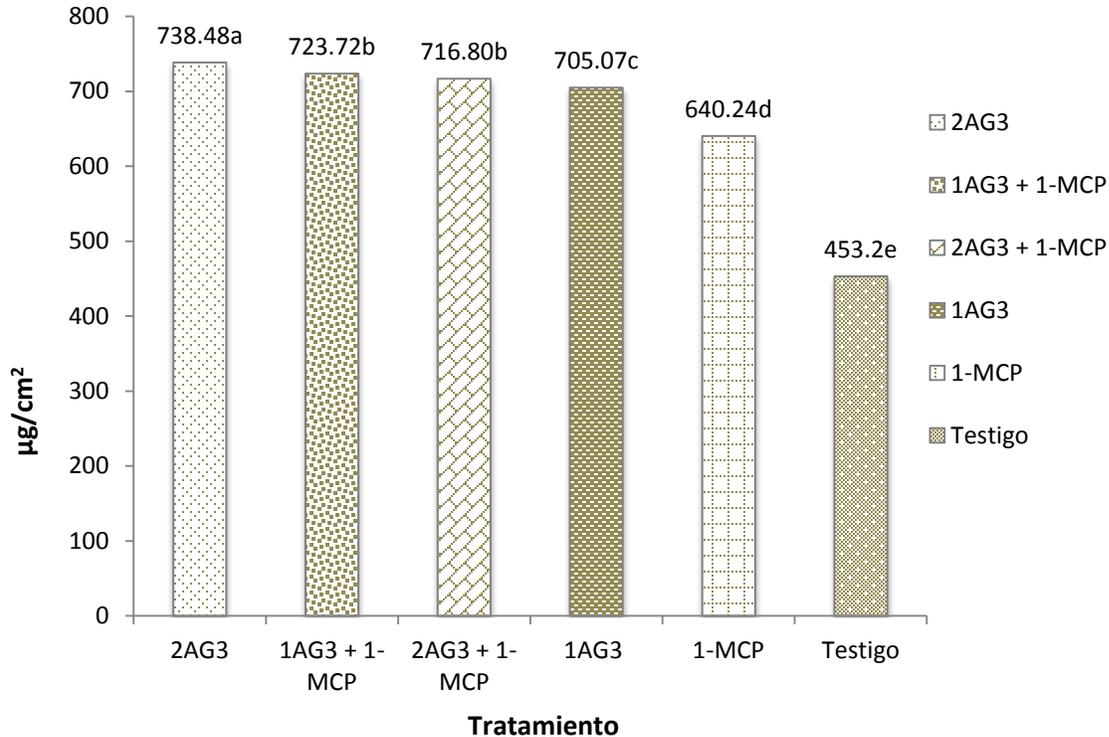


Figura 45. Efecto del tratamiento en el peso de cutícula ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) en frutos de limón mexicano.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

En los días de evaluación se encontró que al transcurrir el tiempo de almacenamiento el peso de la cutícula de los frutos fue en descenso, de tal manera, que el día 5 alcanzó $688.28 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, mientras que al finalizar la evaluación del día 10 obtuvo un peso de $637.55 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, mostrándose diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre ambos.

De acuerdo al análisis estadístico, la variedad 'Lise' reveló diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre sus tratamientos, de tal forma que los tratamientos con mayor peso de cutícula fueron: una aplicación de AG3 en precosecha más 1-MCP en postcosecha con $744.72 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ y dos aplicaciones precosecha de AG3 más cero de 1-MCP con un

valor de 738.14 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, respecto al testigo que resultó con el valor más bajo (427.21 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$).

Por otro lado, en 'Colimon' una y dos aplicaciones de AG₃ en precosecha más 1-MCP en postcosecha (2AG₃ + 1-MCP y 1AG₃ + 1-MCP) así como dos aplicaciones precosecha de AG₃ más cero de 1-MCP mostraron los valores más altos de cutícula (744.72, 738.81 y 737.7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, respectivamente) en comparación con el testigo (479.19 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$).

El mayor peso de cutícula se encontró en los tratamientos con sólo dos aplicaciones precosecha de AG₃ de la variedad 'Lise' y 'Colimon' así como el tratamiento de una aplicación precosecha de AG₃ más 1-MCP de la variedad 'Lise' y dos aplicaciones precosecha de AG₃ más 1-MCP correspondiente a la variedad 'Colimon' (Cuadro 22), por otro lado, el testigo de ambas variedades mostró el peso más bajo de cutícula (Cuadro 22).

Tras 10 días de evaluación el peso cuticular de 'Lise' (644.78 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) fue mayor significativamente ($p \leq 0.01$) que el de 'Colimon' (630.33 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) tras 10 días de almacenamiento.

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en la interacción tratamiento por días de evaluación para el peso cuticular, mostrando que sólo una y dos aplicaciones precosecha de AG₃ (713.21 y 718.99 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, respectivamente) fueron significativamente mayores en peso de cutícula que el testigo (390.55 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) transcurridos 10 días de almacenamiento.

Cuadro 22. Peso de cutícula en tratamientos de dos variedades de limón mexicano.

Variedad	Tratamiento	Peso de cutícula (μg / cm^2)
'Colimon'	1AG3 + 1-MCP	702.71b
'Colimon'	2AG3 + 1-MCP	737.7 ^a
'Colimon'	1AG3	708.33b
'Colimon'	2AG3	738.81 ^a
'Colimon'	1-MCP	604.78d
'Colimon'	Testigo	479.19e
'Lise'	1AG3 + 1-MCP	744.72 ^a
'Lise'	2AG3 + 1-MCP	695.9b
'Lise'	1AG3	701.81b
'Lise'	2AG3	738.14 ^a
'Lise'	1-MCP	675.7c
'Lise'	Testigo	427.2f

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01).

La interacción entre los factores variedad por tratamiento por días de evaluación, reflejó diferencias significativas ($p \leq 0.01$), así que la evaluación del día 10 mostró con mayor peso de cutícula a los tratamientos con una aplicación de AG3 en precosecha más 1-MCP, en postcosecha y 2AG3 de la variedad 'Lise' (732.85 y 728.97 μg / cm^2 , respectivamente), por el contrario, el peso cuticular del testigo de 'Lise' y 'Colimon' fue

menor a los tratamientos antes mencionados (389.33 y 391.76 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, respectivamente).

El rol de la cutícula en reducir la pérdida de agua parece ser su función primaria, ya que actúa como una eficaz barrera hidrofóbica protectora para minimizar la pérdida de agua por evapotranspiración y también la pérdida de otros gases (CO_2 , O_2) (Jeffree, 2006; Riederer, 2006; Panikashvili et al., 2007) sin embargo, la ultraestructura de la cutícula varía ampliamente entre especies de plantas, tipos de órganos y su estado de desarrollo (Petit-Jiménez et al., 2007; Isaacson et al., 2009) así como aplicación de compuestos hormonales (Báez et al., 1993).

Con relación a lo último y de acuerdo con los resultados obtenidos se encontró una diferencia marcada entre los tratamientos con aspersiones precosecha de AG3 respecto al testigo, mostrando que las aplicaciones precosecha a los frutos de AG3 tuvieron un efecto favorable en el peso de cutícula ya que este compuesto hormonal disminuyó la pérdida de peso de la cutícula mientras que el testigo tuvo una pérdida mayor de cutícula.

4.2.11. Ceras intracuticulares

La función esencial de las ceras intracuticulares es limitar la pérdida de agua por la cutícula puede deberse a que es un complejo poliéster con ceras asociadas de naturaleza hidrofóbica y muy escasa reactividad (Riederer, 2006; Domínguez et al., 2011).

En este estudio, el factor variedad, tratamiento y días de evaluación así como, la interacción variedad por tratamiento resultaron ser significativas ($p \leq 0.01$),

observándose en el factor variedad que 'Lise' obtuvo mayor contenido de ceras intracuticulares que 'Colimon' (94.66 y 90.35 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, respectivamente). Por otro lado, el factor tratamiento reveló que dos aplicaciones en precosecha de AG3 mostró el peso más alto de ceras intracuticulares (102.96 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) respecto al testigo que obtuvo 86.27 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Mientras transcurría el tiempo de almacenamiento se observó un incremento del contenido total de ceras intracuticulares, mostrando 87.88 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ a los 5 días de evaluación y 97.13 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ al finalizar el periodo de 10 días de almacenamiento.

La interacción variedad por tratamiento fue significativa ($p \leq 0.01$). En la variedad 'Lise' el tratamiento con mayor cantidad de ceras intracuticulares fue la combinación de dos aplicaciones precosecha de AG3 más cero de 1-MCP (104.48 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) comparado con el testigo y el resto de los tratamientos quienes reportaron los valores más bajos (Figura 46).

En la variedad 'Colimon' el tratamiento que tuvo un efecto favorable en el peso de éstas fue dos aplicaciones de AG3 en precosecha más cero de 1-MCP, en postcosecha alcanzando un valor de 101.44 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ mientras que el testigo alcanzó 79.48 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Figura 47).

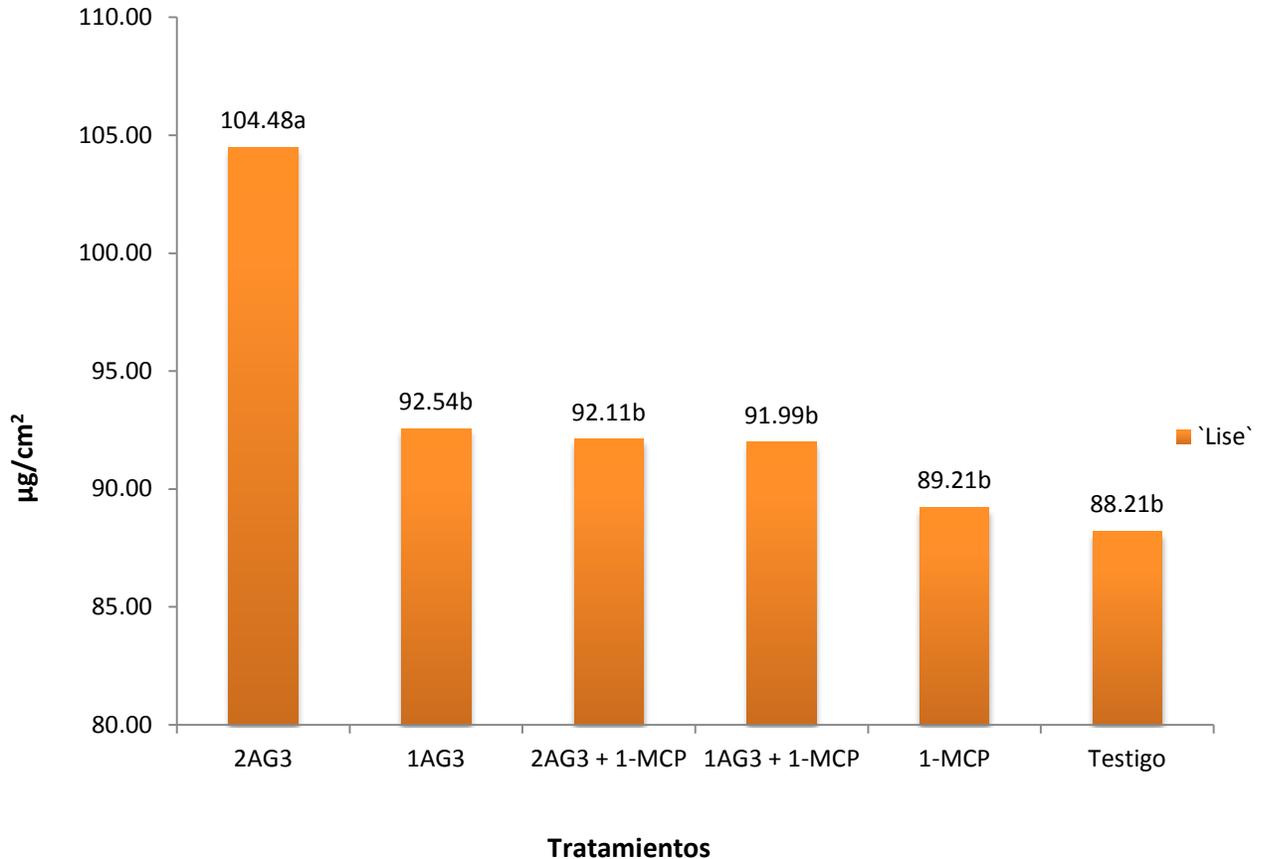


Figura 46. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el peso de ceras intracuticulares ($\mu\text{g} / \text{cm}^2$) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

El mayor peso de ceras intracuticulares se presentó en el tratamiento de dos aplicaciones de AG₃ más cero de 1-MCP en postcosecha de la variedad 'Lise' mientras que el testigo de las variedades 'Lise' y 'Colimon' mostraron menor peso de ceras intracuticulares (Cuadro 23).

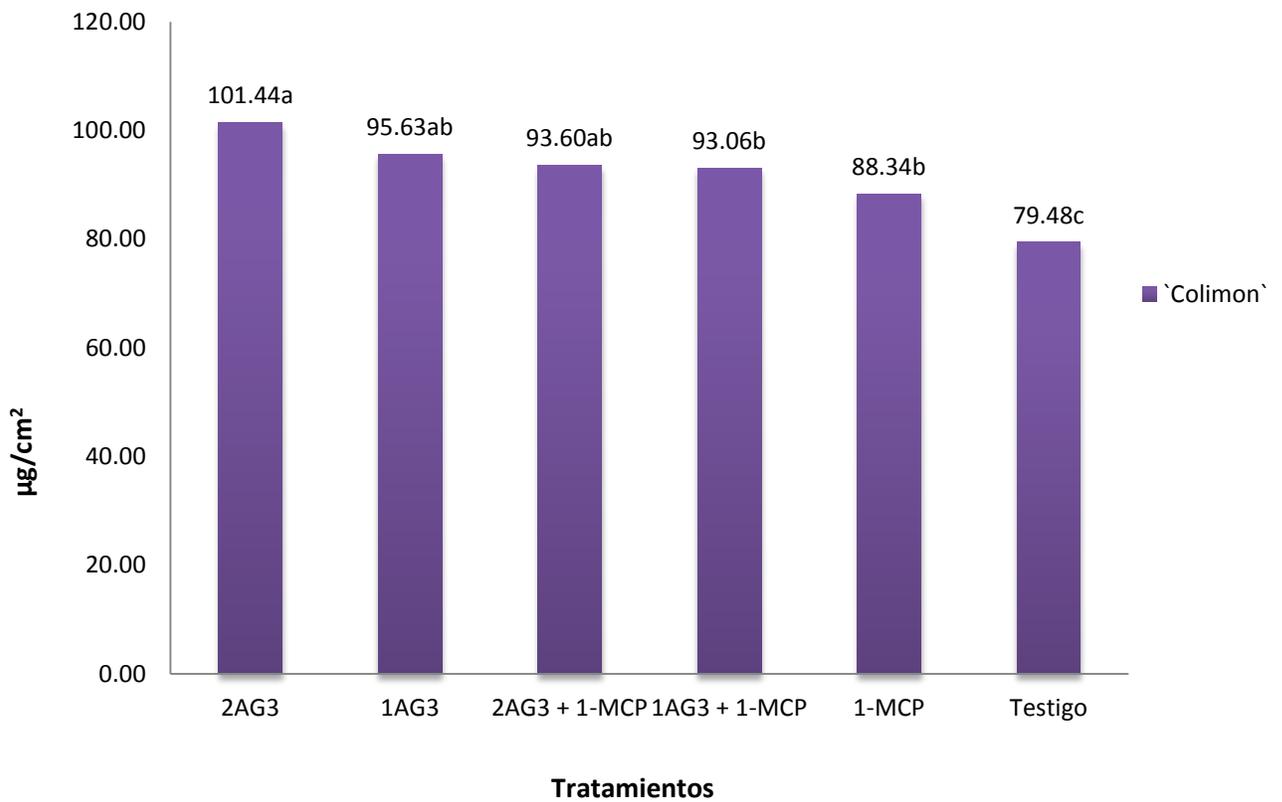


Figura 47. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el peso de ceras intracuticulares ($\mu\text{g} / \text{cm}^2$) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimon'.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

Cuadro 23. Peso de ceras intracuticulares en tratamientos de dos variedades de limón mexicano.

Variedad	Tratamiento	Ceras intracuticulares ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)
'Lise'	2AG3	104.48a
'Lise'	1AG3	92.54cd
'Lise'	2AG3 + 1-MCP	92.11cd
'Lise'	1AG3 + 1-MCP	91.99cd
'Lise'	1-MCP	89.21d
'Lise'	Testigo	88.21d
'Colimon'	2AG3	101.44ab
'Colimon'	1AG3	95.63bc
'Colimon'	2AG3 + 1-MCP	93.60cd
'Colimon'	1AG3 + 1-MCP	93.06cd
'Colimon'	1-MCP	88.34d
'Colimon'	Testigo	79.48e

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01).

Los resultados muestran que la aplicación de AG3 a los frutos en precosecha mantienen un mayor peso de ceras intracuticulares respecto al testigo, tanto en la variedad 'Lise' como en 'Colimon', es probable que la aplicación de esta hormona en precosecha haya modificado la estructura de las ceras intracuticulares ya que Geyer y

Schönherr (1990) consideran que la estructura de las ceras intracuticulares es más importante en la determinación de la permeabilidad de las cutículas que su cantidad o composición.

4.2.12. Cutina

La cutina es el principal constituyente de la cutícula en plantas y actúa como barrera de defensa a las agresiones físicas, químicas y biológicas (Heredia, 2003), en el presente trabajo se observó diferencia estadística significativa ($p \leq 0.01$) entre variedades, siendo 'Lise' quien mostró el mayor peso de cutina, respecto a 'Colimon' (567.27 y 561.34 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, respectivamente).

El factor tratamiento también mostró diferencias significativas ($p \leq 0.01$) revelando dos aplicaciones precosecha de AG₃ más cero de 1-MCP, mostró el mayor contenido de cutina (635.73 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) comparado con el testigo que obtuvo 350.24 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Figura 48).

Se observó en el día 5 de 588.69 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ en los frutos de limón mexicano, mismo que fue en descenso al finalizar el periodo de 10 días de almacenamiento (539.92 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$).

La interacción variedad por tratamiento mostró que los tratamientos con una y dos aplicaciones precosecha de AG₃ más cero de 1-MCP de la variedad 'Lise' al ser comparados con el testigo (325.78 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) tuvieron un efecto positivo en el peso de cutina ya que alcanzaron valores de 636.38 y 643.19 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Figura 49).

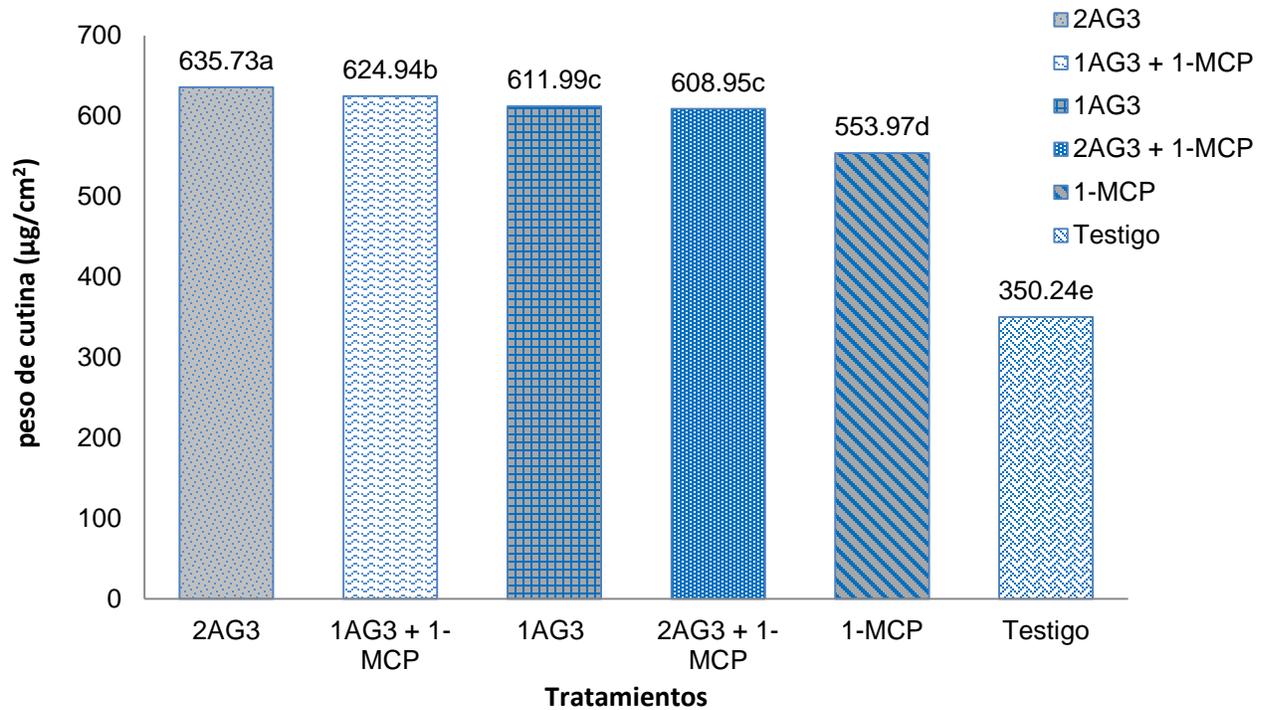


Figura 48. Efecto del tratamiento en el peso de cutina ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) en frutos de limón mexicano.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

De igual manera en la variedad 'Colimon' los efectos positivos se vieron en el tratamiento con sólo dos aplicaciones precosecha de AG3, ya que éste mostró la cantidad más alta de cutina ($643.19 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), respecto al testigo ($374.71 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) y el resto de los tratamientos. Figura 50.

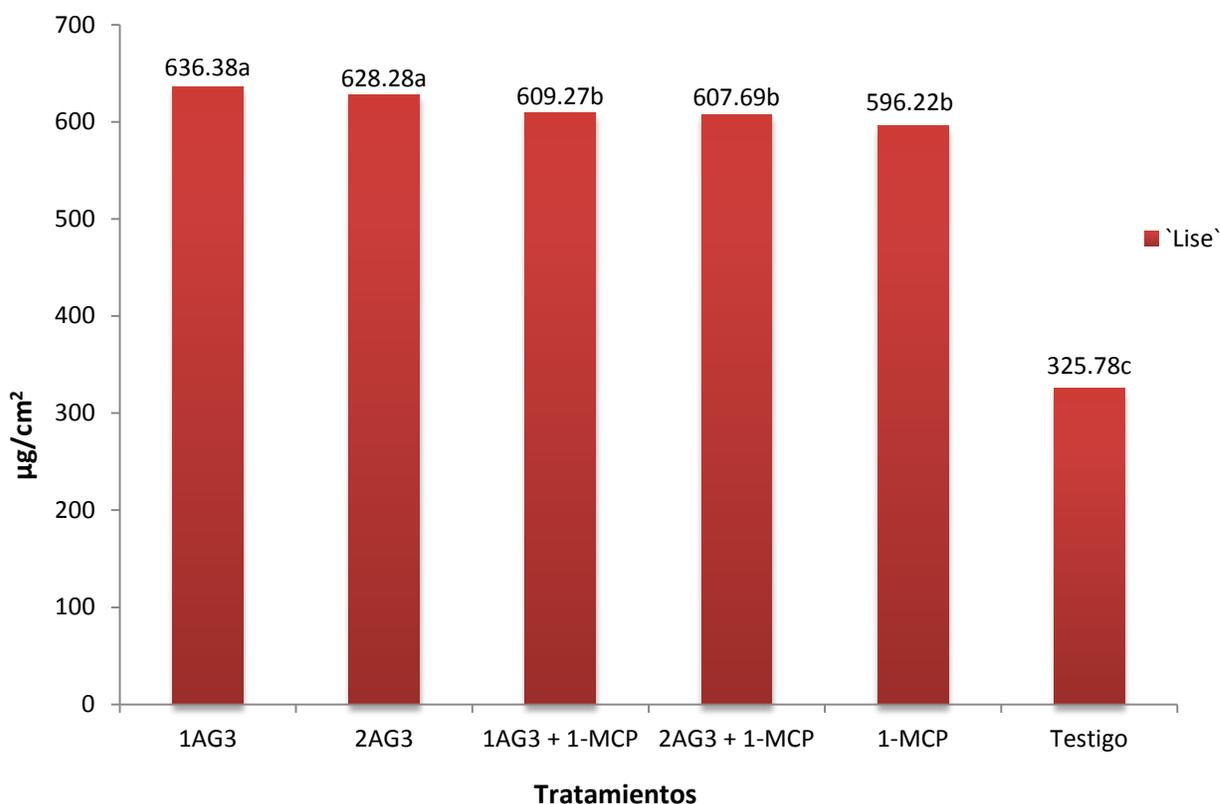


Figura 49. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el peso de cutina ($\mu\text{g} / \text{cm}^2$) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

Al comparar los tratamientos de ambas variedades, los resultados arrojaron que los tratamientos con mayor peso de cutina fueron: 2AG3 de la variedad 'Colimon' así como 1AG3 y 2AG3 correspondientes a 'Lise' (643.19, 636.38 y 628.28 $\mu\text{g} / \text{cm}^2$, respectivamente) respecto al testigo de 'Colimon' (374.71 $\mu\text{g} / \text{cm}^2$), 'Lise' (325.78 $\mu\text{g} / \text{cm}^2$) y al resto de los tratamientos de ambas variedades (Cuadro 24).

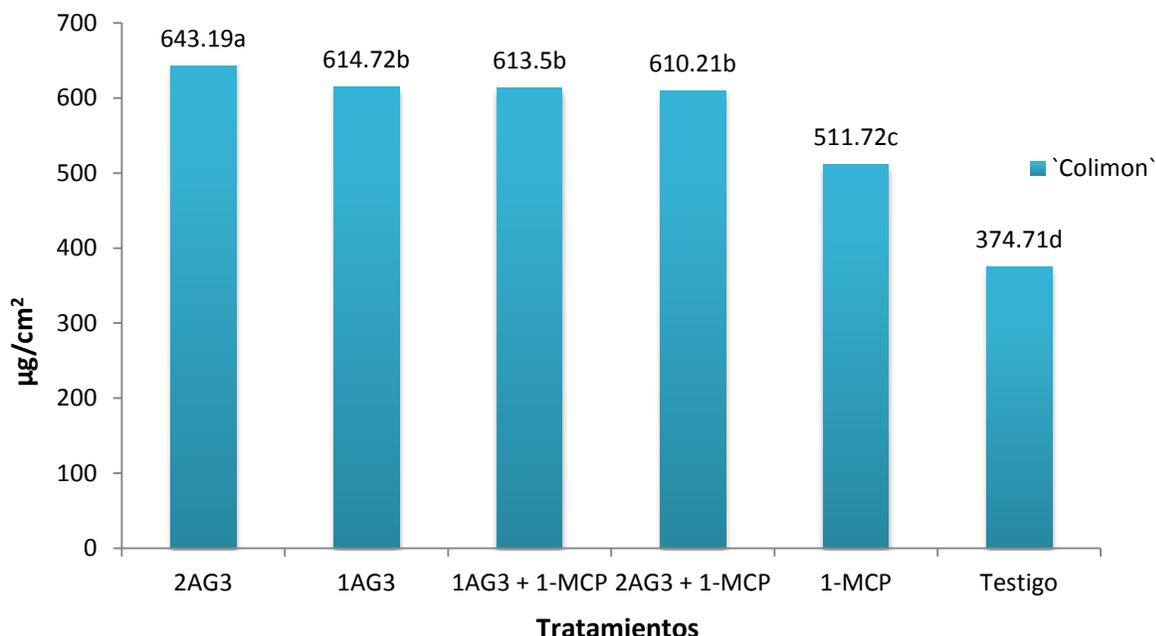


Figura 50. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en el peso de cutina ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimon'.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

El tiempo de evaluación resultó significativo ($p \leq 0.01$) para el peso de cutina en las variedades 'Lise' y 'Colimon' el peso de cutina entre 'Lise' y 'Colimon' tras 5 días de almacenamiento fue significativo (584.66 y 592.72 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, respectivamente), de igual forma, el peso de cutina entre ambas variedades mostró diferencias ($p \leq 0.01$) al finalizar 10 días de almacenamiento siendo 'Lise' (549.88 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) mayor que 'Colimon' (529.96 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, respectivamente).

Cuadro 24. Peso de cutina en tratamientos de dos variedades de limón mexicano.

Variedad	Tratamiento	Cutina ($\mu\text{g} / \text{cm}^2$)
'Lise'	1AG3	636.38a
'Lise'	2AG3	628.28a
'Lise'	1AG3+MCP	609.27b
'Lise'	2AG3+MCP	607.69b
'Lise'	1+MCP	596.22b
'Lise'	Testigo	325.78e
'Colimon'	2AG3	643.19a
'Colimon'	1AG3	614.72b
'Colimon'	1+MCP	613.5b
'Colimon'	2AG3+MCP	610.21b
'Colimon'	1+MCP	511.72c
'Colimon'	Testigo	374.71d

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01).

El peso de cutina de cada tratamiento evaluado se vio afectado a través del periodo de almacenamiento, de tal forma que, a los 5 días de almacenamiento los frutos del tratamiento con sólo dos aplicaciones precosecha de AG3 tuvieron un peso mayor de cutina ($647.29 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) respecto al testigo ($419.71 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) donde este último resultó con el valor más bajo. Trascurridos los 10 días de almacenamiento el efecto del AG3 en los tratamientos con sólo una y dos aplicaciones precosecha de éste se hizo

evidente ya que mantuvo en mayor proporción el peso de cutina de los frutos (621.65 y 624.18 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, respectivamente) de aquellos que correspondieron al testigo (280.78 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$).

La interacción variedad por tratamiento por días de evaluación resultó con significancia estadística ($p \leq 0.01$) mostrando en el día 5 de almacenamiento que la combinación de sólo dos aplicaciones precosecha de AG₃ de la variedad 'Lise' reflejó el mayor peso de cutina (671.90 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) en comparación con el testigo y el resto de los tratamientos de ambas variedades (Cuadro 25).

Al transcurrir 10 días de almacenamiento, se encontró que los frutos del tratamiento de sólo dos aplicaciones precosecha de AG₃ de la variedad 'Lise' resultaron con un mayor peso de cutina el cuál, obtuvo un valor de 638.7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, mientras que el testigo de la variedad 'Lise' y 'Colimon' mostraron los valores más bajos (281.45 y 280.11 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) (Cuadro 25).

De igual forma que en el peso de cutícula y ceras intracuticulares, el peso de cutina fue mayor en los tratamientos con aplicaciones precosecha de AG₃, dejando claramente de manifiesto que el ácido giberélico mantiene en mayor proporción el peso de cutina que en aquellos sin ningún tratamiento alguno, si bien la disminución de la permeabilidad se debe a la incorporación de ceras en la matriz de cutina, tanto epicuticulares como intracuticulares, se puede esperar una disminución de la pérdida de agua en forma de vapor a través de la cutícula en los tratamientos con ácido giberélico que se traduce en menor pérdida de peso en los frutos.

Cuadro 25. Peso de cutina en los diferentes tratamientos de dos variedades de limón mexicano evaluados a través de 10 días después de cosecha.

Variedad	Tratamiento	Cutina, día 5 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Cutina, día10 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)
'Lise'	2AG3	671.9a	638.70a
'Lise'	1AG3 + 1-MCP	634.07c	596.85c
'Lise'	1-MCP	633.83c	558.61d
'Lise'	2AG3 + 1-MCP	625.6d	589.79c
'Lise'	1AG3	621.68d	633.88ab
'Lise'	Testigo	535.67f	281.45f
'Colimon'	1-MCP	370.1h	487.77e
'Colimon'	1AG3	642.25b	587.20c
'Colimon'	2AG3	622.68d	614.48bc
'Colimon'	1AG3 + 1-MCP	622.41d	604.59c
'Colimon'	2AG3 + 1-MCP	614.77e	605.64c
'Colimon'	Testigo	469.31g	280.11f

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Medias con las mismas letras entre columnas no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01).

4.2.13. Permeabilidad de cutículas

El factor variedad resultó no significativa para la permeabilidad de cutículas, sin embargo; el factor tratamiento, días evaluados así como las interacciones variedad por tratamiento, variedad por días de evaluación, tratamiento por días de evaluación y variedad por tratamiento por días de evaluación mostraron significancia estadística ($p \leq 0.01$).

El factor tratamiento tuvo efecto en la permeabilidad de la cutícula, mostrándose con menor pérdida de vapor de agua a dos aplicaciones precosecha de AG₃ más cero de 1-MCP, el tratamiento con sólo una aplicación de AG₃ y por último una aplicación precosecha de AG₃ más 1-MCP con valores de 33.34, 33.71 y 36.11 mg de vapor de agua/ cm² h respectivamente, mientras que; el testigo alcanzó 39.05 mg de vapor de agua/ cm² h siendo éste último el valor más alto (Figura 51).

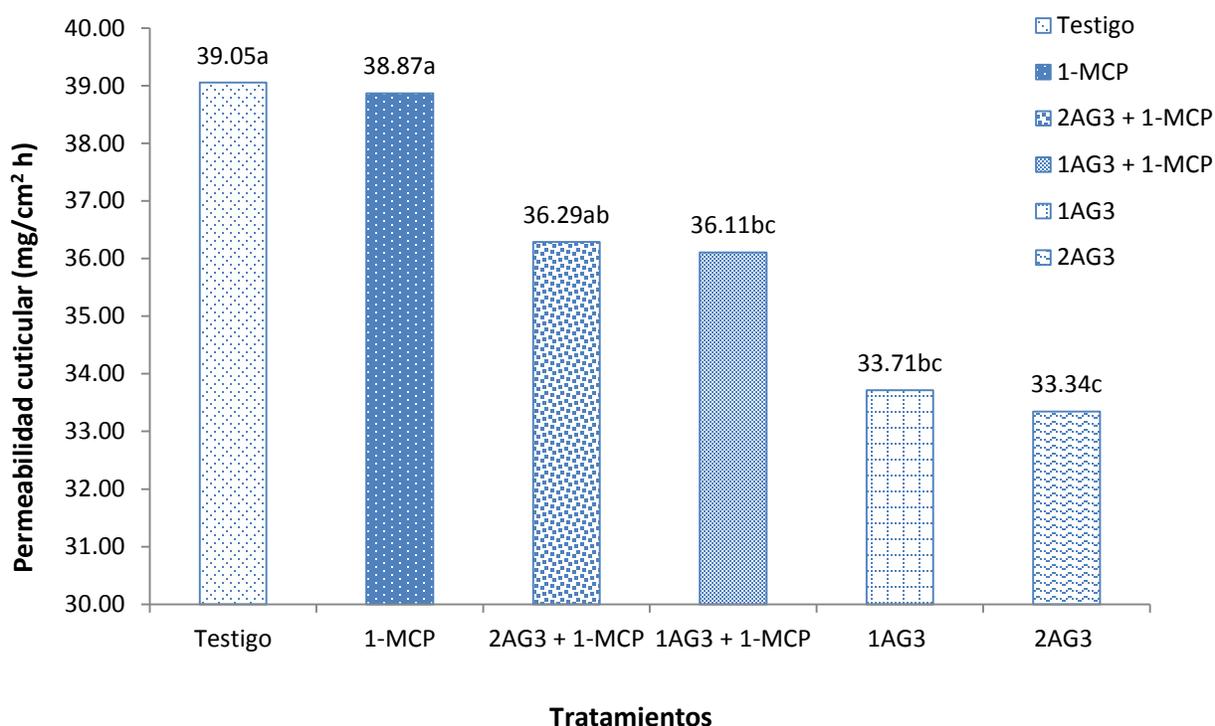


Figura 51. Efecto del tratamiento en la permeabilidad de cutículas aisladas (mg / cm² h) en frutos de limón mexicano.

Medias con las mismas letras no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01). * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

Se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) por efecto del tiempo de evaluación, encontrándose mayor pérdida de agua para el día 5 (37.64 mg de vapor de agua/ cm^2 h) respecto a los 10 días de evaluación (34.82 mg de vapor de agua/ cm^2 h).

La interacción variedad por tratamiento fue significativa ($p \leq 0.01$). En la variedad 'Colimon' el tratamiento con menor pérdida de agua fue aquel con solo dos aplicaciones de AG3 más cero de 1-MCP con un valor de 30.95 mg de vapor de agua/ cm^2 h encontrándose diferencias significativas ($p \leq 0.01$) con el testigo quien reportó 46.79 mg de vapor de agua/ cm^2 h (Figura 52). En el caso de 'Lise' el testigo perdió la mayor cantidad de agua siendo de 40.16 mg de vapor de agua/ cm^2 h, que los tratamientos con aplicaciones precosecha de AG3 más 1-MCP y aquellos con sólo una y dos aplicaciones precosecha de AG3 (Figura 53).

La mayor pérdida de vapor de agua se dio en el testigo de la variedad 'Colimon', mientras que los tratamientos con sólo aplicaciones precosecha de AG3 correspondientes a la variedad 'Lise' contrarrestaron la pérdida de agua a través de la cutícula, así como el tratamiento de sólo dos aplicaciones precosecha de AG3 de la variedad 'Colimon' ya que éstos mostraron los valores más bajos en pérdida de vapor de agua a través de la cutícula (Cuadro 26).

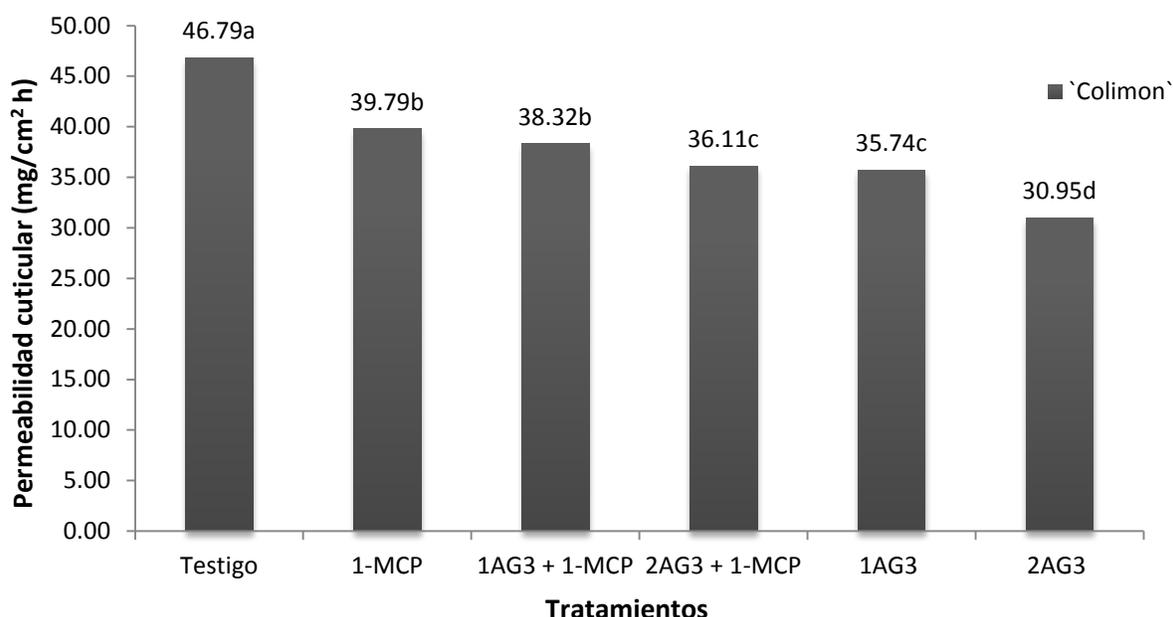


Figura 52. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en la permeabilidad de cutículas aisladas (mg / cm² h) en frutos de limón mexicano, variedad 'Colimon'.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

La interacción variedad por días, permitió observar que en el día 5 de evaluación no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en los valores de pérdida vapor de agua para 'Lise' y 'Colimon' (38.19 y 37.09 mg de vapor de agua/ cm² h, respectivamente), sin embargo, transcurridos los 10 días de evaluación se encontró a 'Colimon' con mayor pérdida de agua respecto a 'Lise' los valores obtenidos fueron 36.60 y 33.04 mg de vapor de agua/ cm² h, respectivamente.

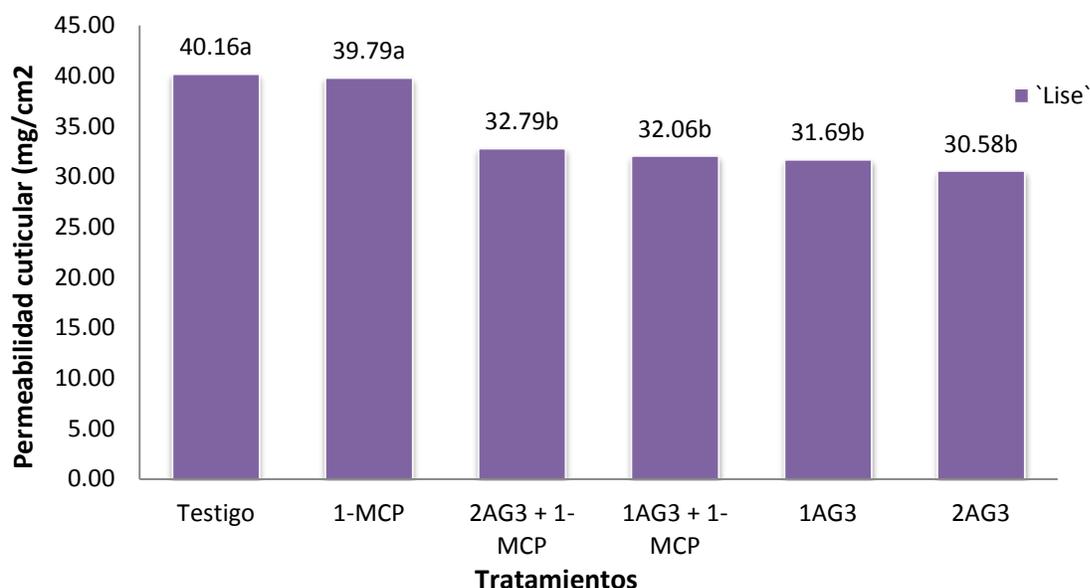


Figura 53. Efecto de la interacción variedad por tratamiento en la permeabilidad de cutículas aisladas (mg / cm² h) en frutos de limón mexicano, variedad 'Lise'.

Medias con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01).
 * Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Testigo: sin aplicación pre o postcosecha.

En la interacción tratamiento por días se observó que para el día 5 de evaluación los tratamientos con menor pérdida de agua fueron aquellos con una y dos aplicaciones precosecha de AG3 más cero de 1-MCP así como los tratamientos con una y dos aplicaciones precosecha de AG3 más 1-MCP en postcosecha mostrando valores de 35.0, 34.63, 36.84 y 36.48 mg de vapor de agua/ cm² h, respectivamente, por otro lado, el testigo tuvo 43.11 mg de vapor de agua/ cm² h mostrando la mayor pérdida de agua en forma de vapor.

Cuadro 26. Permeabilidad de cutículas aisladas de los tratamientos de dos variedades de limón mexicano.

Variedad	Tratamiento	Permeabilidad
		(mg de vapor de agua/cm ² h)
'Lise'	Testigo	40.16b
'Lise'	1-MCP	39.79b
'Lise'	2AG3 + MCP	32.79cd
'Lise'	1AG3 + MCP	32.06cd
'Lise'	1AG3	31.69d
'Lise'	2AG3	30.58d
'Colimon'	Testigo	46.79a
'Colimon'	1-MCP	39.79b
'Colimon'	1AG3 + 1-MCP	38.32b
'Colimon'	2AG3 + MCP	36.11bc
'Colimon'	1AG3	35.74c
'Colimon'	2AG3	30.95d

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01).

Al finalizar el periodo de almacenamiento los tratamientos con dos aplicaciones precosecha de AG3 más 1-MCP en postcosecha, una y dos aplicaciones de AG3 más cero de 1-MCP resultaron con los valores más bajos en pérdida de agua a través de la cutícula reportando valores de 32.79, 32.79 y 31.69 mg de vapor de agua/ cm² h,

respectivamente, mientras que el testigo alcanzó la mayor pérdida de vapor de agua con 41.26 mg de vapor de agua/ cm² h.

La interacción entre los factores variedad por tratamiento por días de evaluación mostró en el día 5 de evaluación que el testigo de ambas variedades ('Lise' y 'Colimon') perdieron mayor cantidad de agua en forma de vapor con valores de 45.69 y 45.68 mg de vapor de agua/ cm² h, respectivamente, por otro lado, los tratamientos con sólo una y dos aplicaciones precosecha de AG₃ más cero de 1-MCP de la variedad 'Lise' y dos aplicaciones de AG₃ más cero de 1-MCP, 'Colimon' mostraron los resultados más bajos (32.42, 33.16 y 28 mg de vapor de agua/ cm² h, respectivamente).

Al transcurrir los 10 días de almacenamiento, el testigo de ambas variedades ('Lise' y 'Colimon') siguió mostrando la mayor pérdida de agua con valores de 48.63 y 42.74 mg de vapor de agua/ cm² h, respectivamente, mientras que los tratamientos de una y dos aplicaciones precosecha de AG₃ más cero de 1-MCP y dos aplicaciones precosecha de AG₃ más 1-MCP en postcosecha correspondientes a la variedad 'Lise' dieron los valores más bajos en pérdida de agua en forma de vapor a través de la cutícula (28, 27.27 y 28.74 mg de vapor de agua/ cm² h, respectivamente) (Cuadro 27).

Cuadro 27. Permeabilidad de cutículas aisladas en los diferentes tratamientos de tres variedades de limón mexicano evaluados través de 10 días después de la cosecha.

Variedad	Tratamiento	Día 5 (mg de vapor de agua/cm ² h)	Día 10 (mg de vapor de agua/cm ² h)
'Lise'	Testigo	45.69a	48.63a
'Lise'	1-MCP	44.95ab	33.90e
'Lise'	1AG3 + 1-MCP	36.11cd	31.69f
'Lise'	2AG3 + 1-MCP	36.11cd	28.74g
'Lise'	1AG3	32.42de	28.00g
'Lise'	2AG3	28.00e	27.27g
'Colimon'	Testigo	45.68a	42.74b
'Colimon'	1-MCP	40.53b	38.32c
'Colimon'	1AG3 + 1-MCP	37.58b	36.11d
'Colimon'	2AG3 + 1-MCP	37.58bc	34.63de
'Colimon'	1AG3	33.90d	33.90e
'Colimon'	2AG3	33.16de	33.90e

* Tratamientos: Aplicación precosecha de ácido giberélico 300 ppm en una (1AG3) o dos ocasiones (2AG3) y aplicación postcosecha de 1-MCP (500 ppm). Testigo: sin aplicación pre o postcosecha. Medias con las mismas letras entre columna, no presentan diferencia significativa (Tukey, 0.01).

4.3. Discusión general

En ambos experimentos, los frutos de las variedades 'Colimex' y 'Lise' presentaron características similares en sólidos solubles totales, sólidos solubles totales, acidez titulable, ácido ascórbico y pérdida de peso. 'Colimex' presentó igual o mayor intensidad de color verde que 'Lise'. En general, 'Colimon' fue superado por las variedades 'Colimex' y 'Lise'.

A pesar de que en el análisis no se separó el efecto de la aplicación precosecha, la aplicación precosecha de AG3 aumentó el contenido de sólidos solubles totales, el contenido de ácido cítrico, y mayor contenido de clorofila en cáscara, lo que se convierte en un índice de color más negativo, esto es, frutos más verdes). Los frutos tratados con AG3 también presentan una tendencia a presentar menor pérdida de peso, pero no del todo consistente.

En ambos experimentos, el tiempo de almacenamiento afectó la calidad interna y externa de los frutos de limón mexicano. Al finalizar el periodo de almacenamiento de 10 días, aumentó el contenido de ácido ascórbico, de acetaldehído, y pérdida de peso. Además, los frutos presentaron pérdida de coloración verde, con tendencia a coloración amarillenta, debido a una degradación de la clorofila. Las tres características que más deterioran su calidad son: disminución del contenido de clorofila, y por tanto del color verde, y pérdida de peso.

La interacción variedad por tratamiento mostró significancia en las variables sólidos solubles totales, contenido de ácido ascórbico, clorofila, porcentaje de pérdida de peso e índice de color; en el segundo experimento resultó significativa además, en cutícula,

cera intracuticular, cutina y permeabilidad de cutículas. Al respecto, aunque en varios parámetros hubo significancia, los tres parámetros que se consideraron más importantes en la definición de la calidad durante los primeros 10 días después de la cosecha fueron la pérdida de peso, el índice de color, y en menor grado el contenido de clorofila. Se encontró que en pérdida de peso, las variedades 'Colimex' y 'Lise' redujeron sus pérdidas de peso en postcosecha como respuesta a la aplicación precosecha de AG3, en tanto que en Colimon' las pérdidas de peso fueron similares en los tratamientos con aplicación precosecha de AG3 y en los que no hubo dicha aplicación.

En relación al contenido de clorofila, únicamente en la variedad 'Colimon' se encontraron diferencias estadísticas claras entre el grupo de tratamientos con aplicación de AG3 en precosecha y los tratamientos en los que no se aplicó AG3. En 'Colimex' y 'Lise' no hubo tales diferencias. Sin embargo, En las tres variedades el índice de color se mantuvo en los tratamientos con aplicaciones de AG3, mientras que en los tratamientos sin AG3, los frutos presentaron un índice de color más alto, que se traduce a una coloración menos verde.

Finalmente, si bien la aplicación de AG3 en precosecha mantiene mejor las características de calidad en postcosecha, la aplicación de 300 ppm de AG3 resultó en la disminución del peso del fruto en magnitudes del 5 al 48%, dependiendo de las variedades y del número de aplicaciones. Sin duda, el AG3 asperjado representa un potencial para mantener mejor las características de calidad postcosecha en limón mexicano, pero hace falta más investigación para definir la época, número de

aplicaciones y concentración que incrementen el color verde en el fruto, y reduzcan la pérdida de peso, pero que no reduzcan el tamaño del fruto al momento de la cosecha.

V. CONCLUSIONES

Las variedades 'Colimex' y 'Lise' en postcosecha presentaron mejores características de calidad que 'Colimon'.

Los frutos de los tratamientos con aplicaciones en precosecha de AG3 más cera o 1-MCP presentaron mejores características internas, mostraron menor pérdida de peso y más coloración verde que el testigo y de aquellos con sólo aplicaciones de cera o 1-MCP en postcosecha. Así mismo, se presentó un peso mayor de cutícula, ceras intracuticulares, cutina y menor pérdida de vapor de agua a través de la cutícula en las variedades 'Lise' y 'Colimon'.

La aplicación de cera con 14% de sólidos o 1-MCP (500 ppm) por sí solos no preservó mejor la calidad del fruto que el testigo, y por tanto, bajo las condiciones de evaluación no se recomienda su uso postcosecha.

En general, la aplicación de AG3 mantiene características de calidad interna y externa al menos durante 10 días de almacenamiento.

La aplicación precosecha de AG3 redujo significativamente el peso de los frutos, mostrando frutos más pequeños a la cosecha.

VI. LITERATURA CITADA

- 2000Agro. (2002). Uso de ceras naturales para conservar frutas. *2000Agro*.
- A. O. A. C. (1984). Official methods of analysis. Washington DC, USA: W. Horwitz (ed), 13th.Ed.
- A. O. A. C. (1990). Official Methods of Analysis. Fruits and fruits products. Washington, D. C. USA: 13th ed.(pp. 231).
- A. O. A. C. (2000). Official Methods of Analysis. Washington D. C. USA.
- Abdi, N., Mcglasson, W. B., Holford, P., Williams, M., and Mizeahi, Y. (1998). Responses of climateric and supressed-climateric plums to treatment with propylene and 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 14, 29-39.
- Able, A. J., Wong, L. S., Prasad, A., and O'hare, T. J. (2002). 1-MCP is more effective on a floral brassica (*Brassica oleracea* var. *Italica* L.) than a leafy brassica (*Brassica rapa* var. *Chinensis*). *Postharvest Biol. Technol*, 26, 147-155.
- Agustí, F. M., y Almela, O. V. (1988). Aplicaciones del ácido giberélico para el control de alteraciones de la corteza de las mandarinas asociadas a su maduración. *Invest. Agri. Prod. Prot. Veg*, 3, 125-137.
- Agustí, M. (1986). Estímulo del desarrollo vegetativo en los agrios. *Agrícola Vergel*, 60, 642-644.
- Agustí, M. (2003). *Citricultura*. Madrid, España.: Mundi Prensa.
- Agustí, M., Almela, V., and Guardiola , J. L. (1981). The regulation of fruit cropping in mandarins through the use of growth regulators. *Proc.Int.Soc.Citriculture*, 1, 216-220.
- Agustí, M., Martínez F, A., Mesejo, C., y Almela, V. (2003). Cuajado y Desarrollo de los Frutos Cítricos. Valencia, España.
- Albrigo, L. G. (1972a). Distribution of stomata and epicuticular wax on oranges as related to stem end rind breakdown and water loos. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 97:220-223.
- Albrigo, L. G. (1972b). Variation in surface wax on oranges from selected groves in relation to fruit moisture loss. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 85: 262-263.

- Albrigo, L. G. (1986). Peel Morphology and fruit blemishes citrus flowering, fruit set and development (Citrus short course) (pp. 73-80). University of Florida Institute of food and agricultural sciences.
- Aliza-Vardi, P. (1981). Protoplast derived plant from different Citrus species and cultivars. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 1, 149-152.
- Almela, V., Zaragoza, S., Primo-Millo, E., and Agustí, M. (1994). Hormonal control of splitting in 'Nova' mandarin fruit. *J. Hort. Sci*, 69(6), 969-973.
- Alvarez-Armenta, R., Saucedo-Veloz, C., Chávez-Franco, S., Medina-Urrutia, V., Colinas-León, T., y Báez-Sañudo, R. (2010). Aplicación de ácido giberélico en precosecha y cera en postcosecha a frutos de limón mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1, 95-100.
- Álvarez-Armenta, R., Saucedo-Veloz, C., Chávez-Franco, S., Medina-Urrutia, V., Colinas-León, T., y Báez-Sañudo, R. (2008). Reguladores del crecimiento en la maduración y senescencia de frutos de limón mexicano. *Agricultura Técnica en México*, 34, 5-11.
- Amorós, C. M. (2003). *Producción de Agrios*. España.
- Azcón-Bieto, J., y Talón, M. (1993). Fisiología y Bioquímica Vegetal. *Interamericana Mc.graw-Hill. Madrid, España*, 581
- Báez R, Tadeo, F., Primo-Millo, E., and Zacarias, L. (1993). Physiological and ultrastructural changes during the ripening and senescent of clementine mandarin. *Acta Hort*, 343, 18-24.
- Baker, A. A., Procopious, J., Hunt, G. M. (1975). The cuticles of citrus species. Composition of leaf and fruit waxes. *J. Sci. Food Agric.*, 26: 1092-1101.
- Baldwin, E. A., M, N. C., Shaw, P. E., and Burus, J. K. (1995). Effects of coating and prolonged storage conditions on fresh orange flavor volatiles, degrees Brix, and ascorbic acid levels. *J. Agr. Food. Chem*, 43(5), 1321-1331.
- Ben-Yehoshua, S. V., Rodov, V., Fang, D. Q., and Kim, J. J. (1995). Preformed antifungal compounds of citrus fruits: Effect of postharvest treatments heat and growth regulators. *J. Agric. Food Chemistry*, 43, 1062-1066.

- Biolatto, A. E., Vazquez, A. M., Sancho, F. J., and Pensel, C. a. N. A. (2005). Effect of commercial conditioning and cold quarantine storage treatments on fruit quality of grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.). *Postharvest Biology and Technology*, 35, 167-176.
- Blankenship, S. M., and Dole, J. D. (2003). 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 1-25.
- Bower, J. P. (2000). Prediction and physiology of creasing. *Proc. Intl. Soc. Citriculture*, 2, 1089-1093.
- Braddock, R. J. (1999). *Handbook of citrus* (N. Y. Wiley Ed.).
- Carvalho, C., Monteverde, A., Martínez-Jávega, J. M., y Salvador, A. (2006). Efecto del tratamiento de desverdización en la calidad de mandarinas "Oronules" con vistas a la exportación a Japón *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7(2), 104-108.
- Coggins, C. W. (1986). Fruit development and senescence. In citrus flowering, fruit set and development. *Fruit crops Dep; Fla. Coop. Ext. Serv; Univ, of Fla. And Inst. Food Agric. Sci. USA*, 15-20.
- Cohen, E., Shalom, Y., and Rosenberger, I. (1990). Postharvest ethanol buildup and off-flavor in 'Murcott' tangerine fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 115, 775-778.
- Cuquerella, J. J., Martínez-Jávega, A., Monteverde, P., y Salvador, N. y. A. (2004). Nuevo sistema de medida de color para cítricos. *Levante Agrícola*, 372, 298-304.
- Cuquerella, J. J., Martínez-Jávega, M., and Jiménez-Cuesta, M. (1981). Some physiological effects off different wax treatments on Spanish citrus fruit during cold storage. *Proceedings International of Society Citriculture*, 2, 734-737.
- Cuquerella, J., Mateos, M., A, D. R. M., y Navarro, P. (1988). Influencia de distintos recubrimientos en el intercambio gaseoso y alteraciones fisiológicas en la post-recolección de naranjas 'Valencia'. *Sociedad Española de Fisiología Vegetal*, 88, 118-126.
- Davies, F. S., and Albrigo, L. G. (1994). Citrus. *Crop Production Science in Horticulture University of Florida, USA*, 203-206.
- Davis, P. L. (1970). Relation of ethanol content of citrus fruits to maturity and to storage conditions. *Florida State Horticultural Society*, 294-298.

- Domínguez, E., Heredia-Guerrero, J. A., and Heredia, A. (2011). The biophysical design of plant cuticles: an overview. *New Phytol*, 189, 938-949.
- Dou, H., and Coates, G. A. (2004). 1-Methylcyclopropene (1-MCP) Application Influences Citrus Juice Color and Vitamin C Concentration in Postharvest Storage. *Hortscience*, 39(4), 816-816.
- Echeverría, E. D., and Ismail, M. (1987). Changes in sugar and acids of citrus fruits during storage. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 100, 50-52.
- El-Otmani, M., and Coggins, C. W. (1991). Growth regulator effects on retention of quality of stored citrus fruits. *Sci. Hortic*, 45(261), 272.
- El-Otmani, M., and Coggins, C. W. J. (1985a). Fruit age and growth regulator effects on the quality and structure of epicuticular wax of 'Washington' navel orange fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 110, 371-378.
- El-Otmani, M., and Coggins, C. W. J. (1985b). Fruit development and growth regulator effects on normal alkanes of cultivar 'Washington' navel orange. *Citrus sinensis* fruit epicuticular wax. *J. Agric. Food chem.*, 33, 656-663.
- El-Otmani, M., Arpaia, M. L., Coggins, C. W. J., Pehrson, J. E. J., and O'Connell, N. V. (1989). Developmental changes in 'Valencia' orange fruit epicuticular wax in relation to fruit position on the tree. *Scientia Hortic.*, 41:69-81.
- Fan, X., Blankenship, S. M., and Mattheis, J. P. (1999). 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124(6), 690-695.
- Freeman, B., Albrigo, L. G., and Biggs, R. H. (1979). Ultrastructure and chemistry of cuticular waxes of developing *Citrus* leaves and fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 104:801-808.
- Freeman, G. J., Rao, D. D., and Huang, A. S. (1979). RNA synthesis of vesicular stomatitis virus. VIII. Oligonucleotides of the structural genes and mRNA. *Gene*, 5, 141-157.
- Fucik, J. E. (1981). The effect of preharvest foliar spray of 2,4-D and gibberellic acid on the postharvest storage characteristics of 'Ruby Red' grapefruit. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 221-224.
- García-Luis, A., Agustí, M., Almela, V., Romero, E., and Guardiola, J. L. (1985). Effect of gibberellic acid on ripening and peel puffing in 'Satsuma' mandarin. *Sci. Hortic*, 27, 75-86.

- García-Martínez, J. L., and García-Papí, M. A. (1979). The influence of gibberellic acid, 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and 6-benzylaminopurine on fruit-set of Clementine mandarin. *Scientia Hortic.*, 10, 285-294.
- Geyer, U., and Schönherr, J. (1990b). The effect of the environment on the permeability and composition of *Citrus* leaf cuticles. I Water permeability of isolated cuticular membranes. *Planta*, 180, 147-153.
- Golding, J. B., Shearer, D., Wyllie, S. G., and Mcglasson, W. B. (1998). Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene dependent ripening processes banana fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 14(1), 87-98.
- Goldschmidt, E. E. (1980). Pigment changes associated with fruit maturation and their control. *Senescence in Plants*, 207-217.
- Goldschmidt, E. E. (1997). Ripening of citrus and other non-climateric fruits: a role for ethylene. *Acta Horticulturae*, 463, 335-340.
- Goldschmidt, E. E., Aharoni, Y., Eilati, S. K., Riov, J. W., and Monselise, S. P. (1977). Differential counteraction of ethylene effects by gibberellin A₃ and N₆-benzyl adenine in senescing citrus peel. *Plant Physiology*, 59, 193-195.
- Goldschmidt, E. E., and Galili, D. (1974). The fate of endogenous gibberellins and applied radioactive gibberellin a during natural and ethylene-induced senescence in citrus peel. *Plant and Cell Physiol*, 15, 485-491.
- Guardiola, J. L. (1987). Factores internos que determinan el tamaño del fruto en los agrios. *Levante Agrícola*, 279(279/280), 247-250.
- Guardiola, J. L., Agustí, M., Barberá, J., y García Marí, F. (1980). Influencia de las aplicaciones de ácido giberélico durante la brotación en el desarrollo de los agrios. *Rev. Agroquim.Tecnol. Alimentaria*, 20, 139-143.
- Guillen, F. (2009). 1-MCP como estrategia de conservación. 19, 19-23.
- Guillén, F., Castillo, S., Zapata, P. J., Martínez-Romero, D., Serrano, M., and Valero, D. (2007). Efficacy of 1-MCP treatment in tomato fruit. 1. Duration and concentration of 1-MCP treatment to gain an effective delay of postharvest ripening. *Postharvest Biol. Technol*, 43(1), 23-27.
- Hagenmaier, R. D. (2000). Evaluation of a polyethylene-candelilla coating fo 'Valencia' oranges. *Postharvest Biol. Technol*, 1, 147-154.

- Hagenmaier, R. D. (2002). The flavor of mandarin hybrids with different coatings. *Postharvest Biol. Technol*, 24(79-87).
- Hagenmaier, R. D., and Baker, R. A. (1994). Internal gases, ethanol content and gloss of citrus coated with polyethylene wax, carnauba wax, shellac or resin at different application levels. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 107, 261-265.
- Hagenmaier, R. D., and Shaw, P. E. (2002). Changes in volatile components of stored tangerines and other specialty citrus fruits with different coatings. *J. Food Sci*, 67, 1742-1745.
- Heredia, A. (2003). Biophysical and biochemical characteristics of cutin, a plant barrier biopolymer *Bioch. Biophys., Acta* 1620, 1-7.
- Hield, Z. H., Coggins, C. W., and Garber, M. J. (1958). Gibberellin tested on citrus. *Calif. Agr.*, 12, 9-11.
- Iglesias, J., Tadeo, F., Legaz, E., Primo-Millo, E., and Talón, M. (2001). In vivo sucrose stimulation of colour in citrus fruit epicarps: Interactions between nutritional and hormonal signals. *Physiologia Plantarum*, 112, 244-250.
- Ikeda, F. (1981). Repression of poliembryony by gamma-rays in poliembryonic citrus. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 1, 39-44.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, A. y. P. (2010). Reporte anual 2009.
- Isaacson, T., Kosma, D. K., Matas, A. J., Buda, G. J., He, Y., Yu, B., . . . Rose, J. K. C. (2009). Cutin deficiency in the tomato fruit cuticle consistently affects resistance to microbial infection and biomechanical properties, but not transpirational water loss. *Plant J.*, 60, 363-377.
- Jeffree, C. E. (2006). The fine structure of the plant cuticle. *Biology of the Plant Cuticle. M Riederer, C Müller (eds)*, 11-110.
- Jin, K. Y. (2006). 1-MCP Inhibits Ethylene Action and Biosynthesis: Floriculture and Landscape Plants Lab.
- Jordán, M., y Casaretto, J. (2006). Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Etileno, Ácido Abscísico, Brasinoesteroides, Poliaminas, Ácido Salicílico y Ácido Jasmónico. In E. U. d. I. Serena (Ed.), *Fisiología Vegetal* (pp. 5-7). La Serena, Chile.
- Kader, A. (2011). *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas* (Tercera edición ed.). Davis California: 3530.

- Kader, A. A. (2002). *Postharvest technology for horticultural crops* (Vol. 3311): UCANR Publications.
- Ke, D., and Kader, A. (1990). Tolerance of `Valencia` oranges to controlled atmospheres as determined by physiological responses and quality attributes. *Soc. Hort. Sci*, 115 (5), 779-783.
- Kochba, J., and Spiegel-Roy, P. (1977). Cell and tissue culture for breeding and developmental studies of citrus. *Hort. Science*, 12(2), 110-114.
- Kolattukudy, P. E. (1981). Structure, Biosynthesis and degradation of cutin and suberin. *Ann. Rev. Plant Physiol*, 32, 539-567.
- Ku, V. V. V., and Wills, R. B. H. (1999 a). Effect of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli. *Postharvest Biol Technol*, 17, 127-132.
- Ku, V. V. V., Wills, R. B. H., and Yehoshua, S. B. (1999 b). 1-Methylcyclopropene can differentially affect the postharvest life of strawberries exposed to ethylene. *Hortscience*, 34(1), 119-120.
- Lallana, M., Billard, C. E., Elizalde, J. H., y Lallana, V. H. (2006). Breve revisión sobre características de la cutícula vegetal y penetración de herbicidas. *Cien. Doc. Tecnol*, XVII, 229-241.
- Lewis, L. N., and Coggins, C. W. J. (1964). The inhibition of carotenoid accumulation in Navel oranges by gibberellin A3, as measured by thin layer chromatography. *Plant Cell Physiol*, 5, 457-463.
- Lewis, L. N., Coggins, C. W., Labanauska, C. K., and Dugger, W. N. (1967). Biochemical changes associated with natural and gibberellin A3, delayed senescence in the navel oranges rind. *Plant Cell Physiol*, 8, 151-160.
- Mannheim, C. H., and Soffer, T. (1996). Permeability of different wax coatings and their effect on citrus fruit quality. *J. Agric. Food chem.*, 44, 919-923.
- Martínez. D, M. T., y Villegas, M. A. (2000). Calidad de frutos de naranja `Valencia tardía` asperjados con ácido giberélico a diferentes pH. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 6(1), 121-125.
- Martínez-Jávega, J. M. (1990). *Aplicaciones prácticas del etileno en postrecolección*. Paper presented at the II Simposio Nacional sobre Maduración y Postrecolección de frutas y hortalizas, España.

- Martínez-Jávega, J. M., and Cuquerella, J. (1984). Factors affecting cold storages of Spanish oranges and mandarines. *Proceedings International of Society Citriculture*, 1, 511-514.
- Martínez-Jávega, J. M., Cuquerella, J., y Del Río, M. A. (2000). Investigaciones actuales en tecnología postcosecha en frutos cítricos. *Levante agrícola. Especial de postcosecha* 352, 216-220.
- Martínez-Jávega, J. M., J. C., y A, M. (2001). *Optimización de la tecnología postcosecha en frutos cítricos de producción integrada*. Paper presented at the IV Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas, Cáceres.
- Medina, U. V. M., Robles, G., Becerra-Rodríguez, J., Orozco, R. J., Orozco-Santos, F., Cruz, X., ...Félix, F. C. (2001). El cultivo de limón mexicano *Libro técnico #1* (pp. 188). Campo Experimental Tecomán: INIFAP, CIRPAC.
- Mellething, W. P., M. Chen, M., and Borgic, D. (1982). In line application of porous wax coating materials to reduce frection discoloration of Bartlett and Anjou Pears. *Hortscience*, 17, 215 - 217.
- Mir, N. A., Canoles, M., Beaudry, R. M., Baldwin, E., and Mehla, C. P. (2004). Inhibiting Tomato Ripening with 1-Methylcyclopropene. *J. Am. Soc. Hort. Sci*, 129(1), 112-120.
- Monselise, S. P. (1986). Handbook of citrus set and develompent. *Boca Raton Florida*, 586.
- Monterde, A., Salvador, A., Ben-Abda, J., y Martínez-Jávega, J. M. (2003). Efecto de la aplicación de recubrimientos de origen natural en la calidad de mandarinas y naranjas. Maduración y post-recolección de frutos y hortalizas. Paper presented at the Maduración y Post-Recolección 2002, Madrid, 2002.
- Norman, S. M. (1977). The role of volatiles in storage of citrus fruits. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 1, 238-242.
- Panikashvili, D., Savaldi-Goldstein, S., Mandel, T., Yifhar, T., Franke, R. B., Hofer, R., . . . Aharoni, A. (2007). The Arabidopsis DESPERADO/AtWBC11 transporter is required for cutin and wax secretion. *Plant Physiol*, 145, 1345-1360.
- Petit-Jiménez, D., González-León, A., González-Aguilar, G., Sotelo-Mundo, R., y Báez-Sañudo, R. (2007). Cambios de la cutícula durante la ontogenia del fruto de *Mangifera indica* L. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30, 51-60.

- Petracek , P. D., Dou, H., and Pao, S. (1998). The influence of applied waxes on postharvest physiological behavior and pitting of grapefruit
- Petracek, P. D., Silverman, F. P., and Greene, D. W. (2003). A history of commercial plant growth regulators in apple production. *Hort. Science*, 38(5), 937-942.
- Porat, R., Weiss, B., Cohen, L., Daus, A., Goren, R., and Drobt, S. (1999). Effects of ethylene and 1 – methylcyclopropene on the postharvest qualities of ‘Shamouti’ oranges. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 155-163.
- Quiroga, E. N., Sampietro, A. R., Soberón, J. R., y Vattuone, M. A. (2008). Etileno. San Miguel de Tucumán, Argentina: Universidad Nacional de Tucumán.
- Riederer, M. (2006). Introduction: biology of the plant cuticle: In: *Biology of the Plant Cuticle*. M Riederer, C Müller (eds). . *Julius-vonSachs-Institut, für Biowissenschaften Universität Würzburg, Germany.*, 1-8.
- Riederer, M., and Schneider, G. (1990). The Effect of Environment in the Permeability and Composition of Citrus Leaf Cuticles. II. Composition of Soluble Cuticular Lipids and Correlation with Transport Properties. *Planta*, 180 (2), 154-165.
- Robles-González, M., Carrillo-Medrano, S., Manzanilla-Ramirez, J., Velázquez-Monreal, J., y Medina-Urrutia, V. (2010). Mejoramiento genético de limón mexicano: avances y perspectivas. Paper presented at the VI Simposium Internacional Citrícola, Tecomán, Colima.
- Rocha-Peña, M. A., Lee, R. F., R. Lastra, R., Niblett, C. L., Ochoa-Corona, F. M., Garnsey, S. N., and Yokomi, R. (1995). Citrus tristeza virus and its aphid vector *Toxoptera citricida*: Threat to citrus production in the Caribbean and central and North America. *Plant Disease*, 79(5), 437-444.
- Salvador, A., E. (1995). La desverdización de frutos cítricos, un proceso necesario: Parte I. *Horticultura Internacional*, 67-70.
- Samuels, L., Kunst, L., and Jetter, R. (2008). Sealing plant surfaces: cuticular wax formation by epidermal cells. *Annu. Rev. Plant Biol* 59, 683-707.
- Saucedo, V. C., Medina, U. V. M., y 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.

- Saucedo, V. C., y Medina, U. V. M. (2008). Problemas del manejo poscosecha y comercialización de limás ácidas en México. Paper presented at the em qualidade e pos-colheita de frutas, Campinas (Brasil).
- Schönherr, J., and Riederer, M. (1986). Plant cuticles sorb lipophilic compounds during enzymatic isolation. *Plant Cell Environ*, 9, 459-466.
- Schulman, Y., and Monselise, S. P. (1970). Some studies on the cuticular wax of citrus fruits. *J. Hortic. Sci*, 45, 471-478.
- Secretaría de Economía. (2001). Norma oficial: NMX-FF-087-SCFI. 2001. Productos alimenticios no industrializados para uso humano, fruta fresca, limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle).
- SIAP. (2014). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). Retrieved Septiembre, 2014, from <http://www.siap.gob.mx/>
- Sierra, M. (2003). Productos naturales para la poscosecha de cítricos. *Horticultura*.
- Sisler, E. C., and Serek, M. (1997). Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments. *Physiology Plant*, 100, 577-582.
- Smagula, J. M., and Bramlage, W. J. (1977). Acetaldehyde accumulation: Its a cause of physiological deterioration of fruits. *HortScience* 12(3), 200-203.
- Stark, R., and Tian, S. (2006). The cutin biopolymer matrix: In: Biology of the Plant Cuticle. M Riederer, C Müller (eds). *Julius-von-Sachs-Institut, für Biowissenschaften Universität Würzburg, Germany*, 126-141.
- Tadeo, R. F., Moya, J. R., Iglesias, D. J., Talón, M., y Primo-Millo, E. (2003). Histología y citología de Cítricos. *Generalitat Valenciana*, 63.
- Tafolla, A. J. C., González, L. A., Tiznado, H. M. E., Zacarías, G. L., y Báez, S. R. (2013). Composición, fisiología y biosíntesis de la cutícula en plantas. *Revista Fitotécnica Mexicana*, 36(1), 3-12.
- Taiz, L., y Zeiger, E. (2006). *Fisiología Vegetal* Vol. 2. U. Jaume (Ed.) (pp. 999-1000).
- Ting, S. V., and Attaway, J. A. (1980). Citrus fruit. In A. C. H. e. A. P. Inc (Ed.), *The Biochemistry of fruits and Their Products*. (pp. 107-169). London.
- Toledo, J. (1991). Respiración y etileno en la poscosecha de productos hortofrutícolas frescos. Primer curso internacional de poscosecha. . In D. d. p. agrícola (Ed.),

- Centro de estudios de postcosecha* (pp. 255-278). Facultad de Ciencias Agrarias: Universidad de Chile.
- Vardi, A., A, E., Frydman-Shani, A., and Neumann, H. (1996). Strategies and considerations in mandarin improvement programmes.
- Wardowski, W., Nagy, S., and Grierson, W. (1986). Fresh Citrus Fruits. *AVI Publishing Co., Inc., Westport, CT.*
- Wiedermann, P., and Neinhuis, C. (1998). Biomechanics of isolated plant cuticles. *Bot. Acta*, 111, 28-34.
- Xuetong, F., and Matheis, J. P. (1998). Development of apple superficial scald, soft scale, core flush and greasiness require ethylene action. . *Tektran. United States Departament of Agriculture.*
- Yeats, T. H., Buda, G. J., Wang, Z., Chehanovsky, N., Moyle, L. C., Jetter, R., . . . Rose, J. K. C. (2012). The fruit cuticles of wild tomato species exhibit architectural and chemical diversity, providing a new model for studying the evolution of cuticle function. *Plant J.*, 69, 655-666.
- Zoffoli, J. P., Rodríguez, J., y Kohler, E. (2000). Puntos críticos en el manejo postcosecha de la uva de mesa- Efecto en la condición del racimo. En: Calidad y condición de llegada a los mercados extranjeros de la uva de mesa de exportación chilena *Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal* (pp. 135-150): Pontificia Universidad Católica de Chile.