

Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Química

Departamento de Investigación y posgrado en
alimentos

Programa de Posgrado en Alimentos del
Centro de la República

"Efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y del tipo de fertilización
en la vida de anaquel y calidad de guayaba (*Psidium guajava*), cv
'Media China'".

T E S I S

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

Maestro en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Presenta:

Ing. Gabino Rafael Ortiz Hernández

Director de Tesis

Dr. Edmundo Mercado Silva

Santiago de Querétaro, Qro., Octubre de 2006

BIBLIOTECA CENTRAL UAQ

No. Adq: H71501

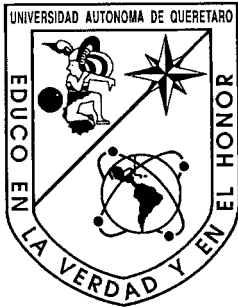
No. Título _____

Clas 75

664.85

077c

1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Química
Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos

“Efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y del tipo de fertilización en la vida de anaquel y calidad de guayaba (*Psidium guajava*), cv ‘Media China’”

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

Ing. Gabino Rafael Ortiz Hernández

Dirigido por:

Dr. Edmundo M. Mercado Silva

SINODALES

Dr. Edmundo M. Mercado Silva

Presidente

Dr. Ramón A. Martínez Peniche

Secretario

Dr. Crescenciano Saucedo Veloz

Vocal

Dra. Clara Pelayo Zaldivar

Suplente

Dra. Estela Vázquez Barrios

Suplente

Q.B. Magali Elizabeth Aguilar Ortiz
Director de la Facultad de Química

Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y Posgrado.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el financiamiento para la realización de mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, específicamente a la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Química, en cuyas instalaciones se gestó y concluyó el presente trabajo.

Al Dr. Edmundo Mercado, por el asesoramiento y dirección de los estudios de maestría, quien con su entusiasmo y conocimientos facilitaron el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Ramón A. Martínez Peniche, por su valiosa participación y atinadas recomendaciones.

Al Dr. Crescenciano Saucedo Veloz, por su disposición y sus importantes sugerencias.

A la Dra. Clara Pelayo Zaldivar, por no permitir que la distancia fuera un obstáculo para la revisión y culminación de este documento.

A la Dra. Estela Vázquez Barrios, por su amistad y apoyo desinteresado en todo momento.

A Carmelita, Laurita y Silvia, por ser un importante eslabón entre los alumnos y la institución.

DEDICATORIAS

A Dios, cuya suprema manifestación permite la existencia de todo.

A mis padres, quienes fueron los primeros actores en mi vida, y a quienes debo respeto y admiración.

A mi esposa, quien me ha demostrado el significado de conceptos que no se enseñan en la escuela: entrega y comprensión, principalmente.

A mi hermana y a mis sobrinos, a quienes espero les sonría la vida.

A mis amigos: Saúl E. Z., socio laboral y ejemplo de la filosofía maquiavélica, Norma N. S. P., amiga presente en las buenas y malas, Leonel D. O., siempre cordial y dispuesto a ayudar.

A todos mis parientes, con los que afortunadamente guardo un vínculo amistoso, especialmente a los miembros del Laboratorio Hermmart, quienes me apoyaron en todo momento, especialmente en los de mayor necesidad.

A mis compañeros de la UAQ: Elizabeth, Edel, Norma y Estrella, a quienes guardo un afecto muy especial.

Y en general, a todos los que han coincidido en el camino de mi vida, pues de alguna manera son actores de mi destino.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	x
SUMMARY	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	3
2.1. Panorama del guayabo en México	3
2.1.1. Origen	3
2.1.2. Importancia nacional.....	3
2.1.3. Condiciones de cultivo del guayabo.....	5
2.1.4. Taxonomía y cultivares.....	6
2.1.5. Morfología	6
2.1.6. Composición	7
2.1.7. Cambios fisicoquímicos de la guayaba	8
2.1.7.1. Durante el desarrollo.....	8
2.1.7.2. Durante el almacenamiento.....	10
2.1.8. Factores que afectan la calidad nutrimental del fruto.....	12
2.1.8.1. Momento adecuado de cosecha o índice de cosecha	12
2.1.8.2. Manejo poscosecha	13
2.2. El empleo de 1-MCP como técnica alternativa en el manejo poscosecha de productos frutícolas	14
2.2.1. Estudios realizados con 1-MCP en frutos climatéricos	18
2.3. La fertilización como factor de precosecha determinante en la calidad del fruto	19
2.3.1. El potasio en la composición del fruto.....	23
2.3.2. Funciones del nitrógeno en la planta	23
2.3.3. Funciones del calcio.....	25
2.3.4. Importancia de la fuente de nitrógeno.....	27
3. OBJETIVOS	29
3.1. Objetivo general.....	29
3.2. Objetivos específicos.....	29

4.	MATERIALES Y MÉTODOS	30
4.1.	Material biológico y cosecha	30
4.1.1.	Material biológico	30
4.1.2.	Cosecha y empaque	30
4.2.	Estrategia experimental seguida	31
4.3.	Experimentos	32
4.3.1.	Efecto del tratamiento con 1-MCP	32
4.3.2.	Efecto de la fertilización en la calidad del fruto	35
4.4.	Métodos de análisis de las variables de respuesta	38
4.4.1.	Color	38
4.4.2.	Textura o resistencia a la penetración	39
4.4.3.	Tasa de respiración	39
4.4.4.	Producción de etileno	40
4.4.4.1.	Condiciones de operación del cromatógrafo	41
4.4.5.	Acidez total titulable	42
4.4.6.	Azúcares totales	42
4.4.7.	Actividad de poligalacturonasa (PG) en frutos de guayaba	43
4.4.7.1.	Obtención del extracto crudo de la enzima	44
4.4.7.2.	Determinación espectrofotométrica	44
4.4.7.3.	Corrección por contenido de proteína	45
4.4.8.	Análisis sensorial	45
4.5.	Diseño del experimento y análisis estadísticos	47
4.5.1.	Efecto del tratamiento con 1-MCP	47
4.5.2.	Efecto de la fertilización en la calidad del fruto	48
5.	RESULTADOS Y DISCUSION	49
5.1.	Efecto del tratamiento con 1-MCP	49
5.1.1.	Aspecto visual de la aplicación de 1-MCP durante el almacenamiento	49
5.1.2.	Efecto sobre la fisiología del fruto	52
5.1.2.1.	Tasa de respiración	52
5.1.2.2.	Producción de etileno	55
5.1.2.3.	Cantidad de Poligalacturonasa (PG) activa	57
5.1.3.	Efecto sobre los factores físicos	58

5.1.3.1.	Cambios de textura.....	58
5.1.3.2.	Cambios de color.....	61
5.1.4.	Efecto sobre los factores fisicoquímicos.....	67
5.1.4.1.	Cambio en la acidez total titulable.....	67
5.1.4.2.	Cambio en el contenido de azúcares totales.....	69
5.1.5.	Efecto sobre las características sensoriales.....	71
5.1.5.1.	Acidez.....	71
5.1.5.2.	Textura.....	72
5.1.5.3.	Dulzura.....	74
5.1.5.4.	Color.....	76
5.1.5.5.	Aroma.....	77
5.2.	Efecto de la fertilización en la calidad del fruto.....	80
5.2.1.	Descripción de las apreciaciones visuales.....	80
5.2.2.	Efecto sobre la fisiología del fruto.....	81
5.2.2.1.	Tasa de respiración.....	81
5.2.2.2.	Producción de etileno.....	82
5.2.3.	Efecto sobre los factores físicos.....	83
5.2.3.1.	Cambios de textura.....	83
5.2.3.2.	Cambios de color.....	85
5.2.4.	Efecto sobre los factores fisicoquímicos.....	89
5.2.4.1.	Acidez.....	89
5.2.4.2.	Azúcares totales.....	90
6.	CONCLUSIONES.....	93
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	96

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1. Superficie (ha) cosechada de guayaba a nivel nacional y en los principales estados productores.....	4
Cuadro 2. Producción (ton) de guayaba a nivel nacional y en los principales estados productores.....	4
Cuadro 3. Programa de fertilización para el cultivo de la guayaba durante el desarrollo fenológico en Hawai	20
Cuadro 4. Concentración nutrimental normal en hojas de árboles de guayaba (%).....	20
Cuadro 5. Diferentes fórmulas de fertilización usadas en guayaba.....	21
Cuadro 6. Fórmulas recomendadas de fertilización para árboles de guayaba según su edad.....	22
Cuadro 7. Identificación de tratamientos, concentración de 1-MCP, tiempos de exposición y cantidad de producto comercial agregado en los tratamientos.....	32
Cuadro 8. Características químicas del fertilizante Nitrofoska ®.....	36
Cuadro 9. Tratamientos de fertilización y fertilizantes aplicados	37
Cuadro 10. Preparación de los tubos para la elaboración de la curva de calibración de azúcares	43
Cuadro 11. Tratamientos realizados con diferente tipo de fertilización en árboles de guayaba.....	48
Cuadro 12. Efecto de la concentración de 1-MCP sobre la producción de CO ₂ (μL de CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹) en frutos de guayaba.....	53
Cuadro 13. Efecto del tiempo de exposición a 1-MCP sobre la producción de CO ₂ (μL de CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹) en frutos de guayaba	54
Cuadro 14. Efecto sobre la producción de etileno (μL kg ⁻¹ h ⁻¹) en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP.....	56
Cuadro 15. Efecto sobre la producción de etileno (μL kg ⁻¹ h ⁻¹) en frutos tratados con diferentes tiempos de exposición a 1-MCP.	56
Cuadro 16. Efecto del tiempo de exposición a 1-MCP sobre la textura (N) en frutos de guayaba	60
Cuadro 17. Lectura de la variable L* de color en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP	61

Cuadro 18. Lectura de la variable L^* de color en frutos tratados con diferentes tiempos de exposición a 1-MCP	61
Cuadro 19. Valores de la variable de color ΔE^* en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP	62
Cuadro 20. Lectura de la variable de color ΔE^* en frutos tratados con diferentes tiempos de exposición a 1-MCP	62
Cuadro 21. Valores de b^* de color en frutos tratados con diferentes tiempos de exposición a 1-MCP.....	62
Cuadro 22. Lectura de la variable b^* de color en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP	63
Cuadro 23. Lectura de la variable a^* de color en frutos tratados con diferentes tiempos de exposición a 1-MCP	63
Cuadro 24. Lectura de la variable a^* de color en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP	64
Cuadro 25. Matiz de color en frutos tratados con diferentes tiempos de exposición a 1-MCP	65
Cuadro 26. Matiz de color en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP	66
Cuadro 27. Efecto sobre la acidez total en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP	68
Cuadro 28. Efecto sobre la acidez total a ,diferentes tiempos de exposición a 1-MCP	68
Cuadro 29. Efecto sobre la cantidad de azúcares totales en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP.....	70
Cuadro 30. Efecto sobre la cantidad de azúcares totales en frutos tratados con diferentes tiempos de exposición a 1-MCP	70
Cuadro 31. Acidez expresada como porcentaje de ácido cítrico de los frutos tratados con 1-MCP	72
Cuadro 32. Textura (N) de los frutos tratados con 1-MCP.....	73
Cuadro 33. Azúcares totales (%) de los frutos tratados con 1-MCP.....	75
Cuadro 34. Lectura de a^* de frutos tratados con 1-MCP	77
Cuadro 35. Matiz de frutos tratados con 1-MCP.....	77
Cuadro 36. Tratamientos realizados con diferente tipo de fertilización en árboles de guayaba.....	80
Cuadro 37. Efecto del tipo de fertilización sobre la tasa de respiración ($\mu\text{L de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de color en frutos de guayaba.....	81
Cuadro 38. Efecto del tipo de fertilización sobre la producción de etileno ($\mu\text{L de Etileno kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) en frutos de guayaba.....	82

Cuadro 39. Efecto del tipo de fertilización sobre la textura (N) en frutos de guayaba	84
Cuadro 40. Efecto del tipo de fertilización sobre el matiz en frutos de guayaba	85
Cuadro 41. Efecto del tipo de fertilización sobre la variable a* de color en frutos de guayaba	86
Cuadro 42. Efecto del tipo de fertilización sobre la variable L* de color en frutos de guayaba	87
Cuadro 43. Efecto del tipo de fertilización sobre la variable b* de color en frutos de guayaba	88
Cuadro 44. Efecto del tipo de fertilización sobre la acidez (%) en frutos de guayaba	89
Cuadro 45. Efecto del tipo de fertilización sobre los azúcares totales (%) en frutos de guayaba	91
Cuadro 46. Resumen del efecto del tipo de fertilización sobre las variables de calidad de frutos de guayaba.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Cuadro	Página
Figura 1.- Precio frecuente semanal en la ciudad de México	5
Figura 2. Representación esquemática de los cambios relativos en los patrones de respiración en frutos climatéricos y no climatéricos.....	8
Figura 3. Cambios en SST (A), acidez titulable (B) y ácido ascórbico (C) durante el desarrollo de frutos de guayaba de la estación primavera-verano.	9
Figura 4. Cambios en respiración (A y B) y producción de etileno (C y D) a 25 °C de frutos de guayaba cosechados durante primavera-verano (A y C) y otoño-invierno (B y D). Los datos son el promedio de 5 frutos.....	11
Figura 5. Regulación de etileno a nivel celular	15
Figura 6. Resumen de factores que influyen en la biosíntesis y acción del etileno	16
Figura 7. Esquema que representa la interacción entre etileno (A) y sus análogos (B) con los receptores en la membrana	18
Figura 8. Estrategia experimental seguida.....	31
Figura 9. Disposición de frutos en cámara hermética expuestos a 1-MCP.....	33
Figura 10. Disposición de los vitroleros en el tren de respiración.....	34
Figura 11. Distribución de los tratamientos en el huerto.....	37
Figura 12. Secuencia de apertura y cierre de la válvula del cromatógrafo de gases marca Perkin Elmer AutoSystem.	42
Figura 13. Hoja de evaluación sensorial aplicada a frutos de guayaba.....	46
Figura 14. Aspecto de los frutos antes de iniciar los tratamientos.....	49
Figura 15. Efecto en el cambio de color de frutos control y tratados con 1-MCP (0.6 ppm) después de 25 días de almacenamiento a 10 °C.	50
Figura 16. Efecto en el cambio de color de frutos tratados con 1-MCP (0.6 ppm) después de 25 días de almacenamiento a 10 °C más 3 días a temperatura ambiente.....	51
Figura 17. Efecto del tiempo de exposición a 1-MCP sobre la producción de CO ₂ en frutos de guayaba.....	52

Figura 18. Efecto de la concentración de 1-MCP sobre la producción de CO ₂ en frutos de guayaba.	53
Figura 19. Efecto del tiempo de exposición (a) y concentración (b) de 1-MCP en la producción de etileno de guayaba.	55
Figura 20. Cuantificación de actividad de poligalacturonasa en extracto de guayaba.	57
Figura 21. Efecto de la concentración de 1-MCP sobre la textura en frutos de guayaba.	59
Figura 22. Efecto del tiempo de exposición a 1-MCP sobre la textura en frutos de guayaba.	60
Figura 23. Efecto del tiempo de exposición a 1-MCP sobre la variable a* de color en frutos de guayaba.	64
Figura 24. Efecto de la concentración de 1-MCP sobre la coordenada de color (a*) de color en frutos de guayaba.	65
Figura 25. Efecto de la concentración y tiempo de exposición al 1-MCP sobre el color en frutos de guayaba.	67
Figura 26. Efecto del tiempo de exposición (a) y concentración (b) de 1-MCP sobre el porcentaje de acidez, expresada como ácido cítrico, en frutos de guayaba.	68
Figura 27. Efecto del tiempo de exposición (a) y concentración (b) de 1-MCP sobre los azúcares totales en frutos de guayaba.	69
Figura 28. Efecto del tiempo de exposición sobre el atributo acidez, medido sensorialmente en frutos de guayaba.	71
Figura 29. Efecto del tiempo de exposición sobre el atributo textura, medido sensorialmente en frutos de guayaba.	73
Figura 30. Efecto del tiempo de exposición sobre la dulzura, medida sensorialmente en frutos de guayaba.	74
Figura 31. Efecto del tiempo de exposición sobre el atributo color, medido sensorialmente en frutos de guayaba.	76
Figura 32. Efecto del tiempo de exposición sobre el atributo aroma, medido sensorialmente en frutos de guayaba.	78
Figura 33. Efecto del tipo de fertilización sobre la tasa de respiración en frutos de guayaba.	81
Figura 34. Efecto del tipo de fertilización sobre la producción de etileno en frutos de guayaba.	82
Figura 35. Efecto del tipo de fertilización sobre la textura en frutos de guayaba.	83
Figura 36. Efecto del tipo de fertilización sobre el matiz de frutos de guayaba.	85

Figura 37. Efecto del tipo de fertilización sobre la variable a* de color en frutos de guayaba.....	86
Figura 38. Efecto del tipo de fertilización sobre la variable L* en frutos de guayaba.....	87
Figura 39. Efecto del tipo de fertilización sobre la variable b* de color en frutos de guayaba.....	88
Figura 40. Efecto del tipo de fertilización sobre la acidez en frutos de guayaba.....	89
Figura 41. Efecto del tipo de fertilización sobre los azúcares totales en frutos de guayaba.....	90

RESUMEN

Este trabajo atiende la necesidad de incrementar la vida de anaquel de la guayaba (*Psidium guajava*) cv 'Media China' para canalizarla a mercados distantes. Dicha situación permitiría incrementar la demanda del producto a nivel regional y nacional, lo cual contribuiría a disminuir la presión económica que provoca la oferta de fruta durante al época de alta producción. En un primer experimento se empleó el 1-MCP (1-Metilciclopropeno), el cual es un inhibidor del etileno al competir activamente con su sitio activo. Se utilizó un diseño bifactorial con tres niveles, los cuales fueron: concentración del compuesto en el aire (0.6, 0.9 y 1.2 ppm) y tiempo de exposición (1, 3 y 5 horas). Las variables de respuesta fueron la tasa de respiración, producción de etileno, cambio de color (a^* , b^* , h , L^*), resistencia a la penetración, contenido de azúcares totales y acidez titulable. Así mismo se llevó un análisis sensorial. La aplicación del compuesto se realizó a temperatura ambiente en un sistema cerrado durante el tiempo de aplicación del compuesto; simultáneamente se llevó un testigo sin aplicación del compuesto. Ambos conjuntos se almacenaron a 10°C bajo una corriente de aire humidificado (20 L h^{-1}) y se tomaron muestras para su análisis durante distintos periodos de almacenamiento. La aplicación de 0.6 ppm del compuesto durante 5 h permitió alcanzar una vida de almacenamiento de 25 días donde los frutos mostraron una mayor resistencia a la penetración (31.6 N) y el cambio de color fue más lento (valor de a^* de 3.7) respecto del testigo (4.2 N y 6.3, respectivamente). No obstante, el máximo climatérico no sufrió retrasos y la producción de etileno fue menor ($0.8 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) con referencia al testigo ($1.8 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$). El análisis sensorial indicó que la aplicación de este compuesto alteró la generación de aroma de los frutos. Al final del periodo de almacenamiento los frutos mantenían su calidad comercial mostrando una firmeza y un color aceptables, sin embargo, en los frutos tratados se observó un aroma menos intenso que el característico. Un segundo experimento confirmó la menor intensidad de dulzura y aroma en los frutos de guayaba expuestos al 1-MCP. De forma simultánea se estudió el efecto del tipo de fertilización en la vida de anaquel. En un huerto comercial de la localidad "La Florida de Jungapeo Michoacán" se evaluó el efecto de la aplicación de cuatro tratamientos de fertilización (T1 Nitrofoska ® en dos aplicaciones; T2 sulfato de amonio con superfosfato de calcio con aplicación secundaria de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ al 45%, T3 Lumbricomposta en dos aplicaciones y T4 triple 17 con aplicación secundaria de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 45%); el análisis estadístico general de los datos de las variables de respuesta (tasa de respiración, producción de etileno, textura, color, acidez y contenido de azúcares totales) no permitió observar efectos significativos de los tratamientos.

Palabras clave: Guayaba, *Psidium guajava*, 1-Metilciclopropeno, fertilización, poscosecha.

SUMMARY

This report has been made with the purpose to show the need of increasing the shelf life of the guava (*Psidium guajava*) cv 'Media China' in order to take it to distant markets. Such a situation would allow the raise of product demand both regionally and nationally which would help to lessen money pressure during the season of high production of the fruit. From a first experiment, 1-MCP (1-methylcyclopropene) was used as an inhibitor of ethyl when acting in its medium. A two-factor model was used with three stages: concentration of the compound in the air (0.6, 0.9 and 1.2 ppm), and time of exposure (1, 3 and 5 hours.) The variables or response were respiration, ethylene production, color changes (a^* , b^* , h , L) penetration resistance, total content of sugars and titrated acidity. Also, a sensorial analysis was performed. The application of the compound took place under an average temperature in an enclosed system during the application of the compound; simultaneously, a control was used without the application of the compound. Both were stored together at 10 °C with a flow of humid air (20 L h⁻¹) and samples were taken to be analyzed at different stages of storing. The application of 0.6 ppm of the compound during five hours allowed to reach a term of storing of 25 days. The fruits showed the sample a tougher penetration resistance (31.6 N) and the transformation of color was slower (value of a^* of 3.7), as far as the control, (4.2 N and 6.3). However, the maximum of climate did not suffer delays and the production of ethyl was less (0.8 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) as far as the control, (1.8 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$). The sensorial analysis showed that the application of this compound altered the generation of fruits aroma. At the of the process of storing the fruits kept their commercial quality showing a stiffness and acceptable color. However, in the treated fruits there was a less intense aroma than the typical one. A second experiment proved lessening of the intensity of sweetness and aroma in the guavas exposed to 1-MCP. Simultaneously, a study was done on the effect of the type of fertilizer on shelf life. In a commercial orchard in a town called "La Florida de Jungapeo, Michoacan", the effect of the application of four processes of fertilizing was evaluated (T1 Nitrofoska ®) in two applications; T2 ammonium sulfate with calcium superfosfate with secondary application of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ at 45%, T3 "Lumbricomposta" in two applications and T4 triple 17 with secondary application of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 45%); the overall statistic analysis of the figures of the variable of responses (respiration, ethylene production, texture, color, bitterness, and total content of sugars) did not show important effects of the processes.

Key words: Guava, *Psidium guajava*, 1-Methylcyclopropene, fertilization, postharvest.

1. INTRODUCCIÓN

Los mercados nacional e internacional demandan cada vez mejor calidad en los productos de consumo, dentro de los cuales las frutas y hortalizas no son la excepción. Las características determinantes de la calidad de la guayaba son el color, el tamaño de fruto y la ausencia de daños externos en el fruto. Los factores poscosecha que pueden ser controlados y mejorados aumentan significativamente la calidad del producto final, ya que se pueden mantener frutos con mínimo daño mecánico y mejor aspecto para la comercialización.

La guayaba es un fruto climatérico, por lo que con el proceso de maduración se logran las mejores características para el consumo (pérdida de firmeza en el fruto, aceleración en el cambio de color, desarrollo de sabor, entre otros), sin embargo, también acorta su vida poscosecha. El retardar el proceso de maduración significa un mayor periodo para colocar el producto en el mercado. La mayor vida de anaquel incrementa las posibilidades de comercializar el producto y de introducirlo en mercados donde los productos altamente perecederos, como es el caso de la guayaba, no lo logran en condiciones tradicionales de comercialización y manejo poscosecha.

Es necesario encontrar nuevos mercados para la guayaba debido a dos razones principales: primero que existe una sobreproducción que al no ser colocada en algún mercado genera desperdicio, que se denota en una gran cantidad de frutos tirados en los huertos y segundo, el precio en el mercado nacional hace a esta actividad poco rentable lo que trae consigo innumerables problemas administrativos y sociales. La industria transformadora, por su parte, no ofrece una buena alternativa de mercadeo, ya que compra el producto a menor precio que cualquier central de abasto, resultando un claro inconveniente el tratar de colocar la producción en este sector.

A la fecha, la guayaba cuenta en promedio de 2 a 3 semanas de vida de anaquel, lo cual no permite su introducción a nuevos mercados. El objetivo del presente trabajo fue determinar las mejores condiciones de manejo y así obtener por lo menos treinta días de vida de anaquel, necesarios para poder exportar la guayaba al mercado potencial que representan los Estados Unidos de Norteamérica, así como los estados de la república mexicana alejados de la zona de producción.

2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

2.1. Panorama del guayabo en México

2.1.1. Origen

El guayabo (*Psidium guajava*) es originario de América, posiblemente de algún lugar de Centroamérica, el Caribe, Brasil o Colombia. Después de la llegada de Colón a América, este fruto se propagó a otros continentes, a tal grado que llegó a creerse que era originario de Indochina y de Malasia (ASERCA, 1997).

2.1.2. Importancia nacional

De acuerdo al Centro de Estadística Agropecuaria, en México, la guayaba se produce de manera comercial en 19 entidades federativas. Considerando la superficie plantada, los cinco estados de mayor importancia son: Michoacán, Aguascalientes, Zacatecas, Jalisco y Guanajuato (SAGARPA, 2004). Se considera que existe producción silvestre no contabilizada en todo el país (SAGAR, 1998).

No obstante su amplia distribución en México, el cultivo de guayabo se concentra en tres estados: Michoacán, Aguascalientes y Zacatecas, los cuales, en el año 2003 ocuparon el 92.3% de la producción. Cabe señalar que el 97% de la superficie nacional de guayaba se cultiva bajo condiciones de riego (SAGARPA, 1998).

Michoacán es la entidad que ha incorporado una mayor superficie a la fase productiva con 82.42%, seguido de Guanajuato (23.75%) y Zacatecas (23.80%), como lo muestra el Cuadro 1.

En Michoacán (región de estudio) el rendimiento ha tenido una variación importante en los últimos 10 años, sobre todo en 1995, cuando casi duplicó la productividad de 7.5 a 14.8 toneladas respecto a 1994 (ASERCA, 1997, con datos de SAGAR, 1998). El Cuadro 2 muestra la producción de guayaba en los principales estados productores.

Cuadro 1. Superficie (ha) cosechada de guayaba a nivel nacional y en los principales estados productores

Entidad	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Aguascalientes	6,939	7,594	7,594	6,539	3,392	6,006
Zacatecas	4,971	5,207	5,088	4,562	1,351	5,148
Michoacán	1,567	2,050	2,443	5,639	5,399	5,629
Jalisco	355	501	479	466	495	425
Guanajuato	497	511	511	451	414	350
Otros	625	765	823	630	859	773
Nacional	14,954	16,628	16,938	18,287	1,910	18,331

Fuente: ASERCA, con datos de SAGAR. Año 1998, Centro de Estadística Agropecuaria. SAGAR: 1999

Cuadro 2. Producción (ton) de guayaba a nivel nacional y en los principales estados productores

Entidad	1998	1999	2000*	2001*	2002*	2003*
Michoacán	42,706	44,525	99,048	101,693	116,559	109,644
Aguascalientes	48,200	85,345	94,372	100,151	101,762	107,259
Zacatecas	13,496	51,429	44,154	43,315	43,574	58,176
Jalisco	5,895	5,062	6,387	6,536	6,731	7,605
Guanajuato	1,726	1,460	858	813	885	1,024
Otros	6,601	5,940	9,340	10,902	12,279	14,462
Nacional	118,624	193,761	254,159	263,410	281,790	298,170

Fuente: ASERCA, con datos de SAGAR. Año 1998, Centro de Estadística Agropecuaria. SAGAR: 1998. *SAGARPA, 2004

Michoacán produce aproximadamente el 40% de la producción nacional (100 mil toneladas, aproximadamente). De la cual la totalidad se destina al mercado nacional con un precio promedio de \$4,000.00 pesos por tonelada.

Se estima que alrededor del 87% de la producción nacional se orienta al consumo en fresco, destinándose, el 65% a la central de abasto de la Ciudad de México, el 20% a la de Guadalajara, el 10% a la de Monterrey y el 5% restante se distribuye entre ocho centrales de abasto y solo el 13.2% de la producción total se procesa en la agroindustria para la fabricación de bebidas, pulpas, jaleas, entre otros productos. (ASERCA, 1997).

El precio de la guayaba producida en Florida y vendida en Boston (mercado final) es de 30 US /caja de 10 Lb (guayaba "chica") y de 45 US /caja de 40 Lb (guayaba "grande") US, equivalente a 75 y 28 pesos mexicanos (Tipo de cambio 11.5\$ mexicanos /1 US) (USDA, 2004). En México, el precio de la guayaba puesta en el mercado final (central de abasto) oscila entre 3 y 7 pesos MN. La

diferencia del precio del producto puesto en el mercado internacional y su precio en el mercado nacional es de por lo menos 21 pesos por cada kg de guayaba. La Figura siguiente muestra el comportamiento en el precio de la guayaba desde 1998 hasta el 2004.

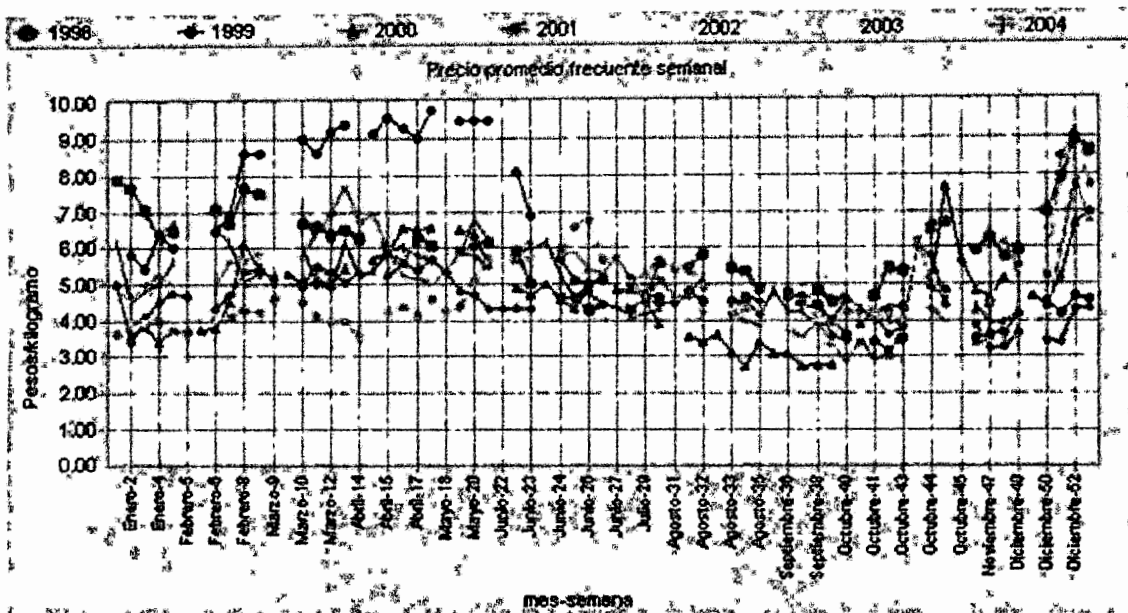


Figura 1.- Precio frecuente semanal en la ciudad de México
Fuente:(www.secofi-sniim.gob.mx, 2004).

2.1.3. Condiciones de cultivo del guayabo

Las condiciones ecológicas óptimas para el cultivo de guayabo y alto rendimiento de fruto con buena calidad incluye temperaturas entre 20 y 30 °C y una precipitación anual de 1,000 a 2,000 mm. La calidad del fruto es pobre en áreas de alta lluvia y alta humedad relativa (Yadava, 1996). La mejor calidad de guayaba se obtiene cuando el fruto madura durante el período seco y frío.

Los más altos rendimientos se obtienen con una temperatura media anual de 23 a 28 °C, aunque el guayabo puede tolerar temperaturas de hasta 45 °C o más. Sin embargo, es sensible a las temperaturas bajas; las plantas jóvenes pueden morir a temperaturas de -1.7 °C, mientras que los árboles maduros toleran períodos cortos a -3.3 °C (Mata-Beltrán y Rodríguez-Mendoza, 1990).

El guayabo es tolerante a suelos pobres, pero la producción del fruto se mejora considerablemente cuando crece en suelos ricos bajo un manejo apropiado (Yadava, 1996).

La temporada de producción está muy localizada a finales de año y se considera que entre septiembre y enero se concentra alrededor de 70% de la producción nacional. El restante 30% se distribuye de febrero a agosto, siendo los meses de mayo y junio los de menor disponibilidad del producto (ASERCA; 1997). Sin embargo, en la zona productora de Michoacán, se tienen las condiciones necesarias para producir en prácticamente cualquier mes del año, siempre que se le proporcione el manejo adecuado.

2.1.4. Taxonomía y cultivares

El guayabo cuenta con 60 géneros y con de 2000 especies y éstos, a su vez, figuran con un número muy elevado de formas y variedades. El género *Psidium* incluye cinco especies. *Psidium guianense*, *P. cattleianum*, *P. chinense*, *P. friendrichsthalianum* y *P. guajava*. Las variedades comerciales de guayaba pertenecen a la especie *P. guajava* (Adsule y Kadman, 1995).

México no cuenta con cultivarse de alta calidad, solamente tipos criollos o formas silvestres (Mata-Beltrán y Rodríguez-Mendoza, 1990). Predomina la variedad 'Media China' en Aguascalientes, Zacatecas y Michoacán, aunque existen variedades regionales conocidas como Regionales de Calvillo, China, La Labor, Acoponeta, Coyame como las más importantes.

2.1.5. Morfología

El árbol de la guayaba es un arbusto o árbol pequeño que alcanza una altura de 6 a 10 m. Su tronco adquiere un diámetro de hasta 30 cm y es de color café-rojizo. Es frecuente encontrarlo tanto en forma silvestre como cultivado, con dimensiones más pequeñas (Balderas-Escamilla, 2000). El fruto es considerado una baya con forma esférica, ovalada, cilíndrica o periforme. El color de la piel del fruto maduro puede ser verde claro, amarillo pálido, amarillo canario y en

ocasiones amarillo con tonalidades rojizas. El fruto consiste de pericarpio fresco el cual está formado por pulpa y numerosas semillas pequeñas. El cáliz es persistente en el fruto maduro. El color de la pulpa normalmente es blanco o crema. Sin embargo, en algunas variedades es de color rosa (Adsule y Kadman, 1995).

2.1.6. Composición

La guayaba consiste de aproximadamente 20% de cáscara, 50% de pulpa y 30% de semilla. Es una excelente fuente de ácido ascórbico (vitamina C), además es rica en fibra dietaria, vitamina A, pectina, fósforo, calcio y potasio (Adsule y Kadman, 1995).

La composición del fruto maduro de diferentes regiones geográficas varía ampliamente (Wilson, 1980). El contenido de sólidos solubles totales (SST) promedio es de 12% (8.8 a 19.4%), con una acidez titulable promedio de 0.8% (0.33 a 0.98%) (Paull y Goo, 1983).

La guayaba tiene un bajo valor energético y un bajo contenido de proteína (275 KJ /100 g y 1% respectivamente). En promedio la guayaba contiene cerca de 16.6% (13 a 26%) de materia seca y 83.3% (74 a 87%) de humedad, la mayor parte del peso del fruto (86.5%) es atribuido a la pulpa (Wilson, 1980; Paull y Goo, 1983).

Los carbohidratos son su principal constituyente. Los azúcares representan cerca de 6-11% del peso fresco de la guayaba (Adsule y Kadman, 1995), siendo los principales la fructosa (1.8 a 3.4%), la glucosa (1.4 a 2.8%) y la sacarosa (0.8 a 1.4%) (Chan y Kwok, 1975). Adsule y Kadman (1995) citan amplios contenidos de ácido ascórbico en guayaba de diferentes variedades (37-1000 mg).

2.1.7. Cambios fisicoquímicos de la guayaba

2.1.7.1. Durante el desarrollo

Mercado-Silva *et al.*, (1998) describieron que el desarrollo del fruto de la guayaba cv "Media China" producida en la estación primavera-verano requirió 130 días desde la floración hasta su cosecha para alcanzar su madurez fisiológica; mientras que la guayaba de otoño-invierno requirió 190 días para alcanzar ese mismo estado de madurez.

También indicaron- que la curva de crecimiento del fruto siguió una curva sigmoide (Figura 2) donde se reconocieron tres etapas características.

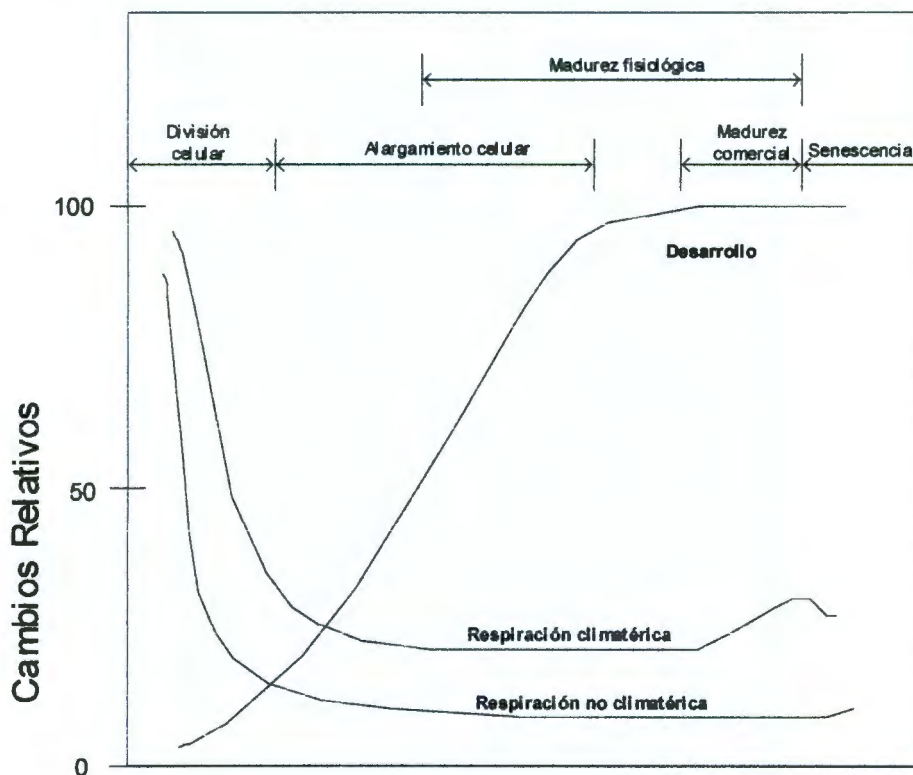


Figura 2. Representación esquemática de los cambios relativos en los patrones de respiración en frutos climatéricos y no climatéricos

Fuente: Biale, 1960.

La etapa I se caracterizó por un rápido incremento en el diámetro y peso del fruto; la etapa II fue identificada por lentos cambios en el diámetro y peso y la

etapa III fue cuando el fruto alcanzó su tamaño final. El contenido de sólidos solubles, ácido ascórbico y ácido cítrico se incrementaron en ésta última etapa de crecimiento (Figura 3).

Lazan y Ali (1998) mencionan que en algunos cultivares, la acidez titulable decrece durante el desarrollo del fruto, mientras que en otras, se incrementa con el desarrollo posterior del fruto. Aunque en otros cultivares, el nivel de acidez titulable mostró ligeros cambios a través del desarrollo del fruto, o un pico de incremento antes de que este decline como fruto maduro.

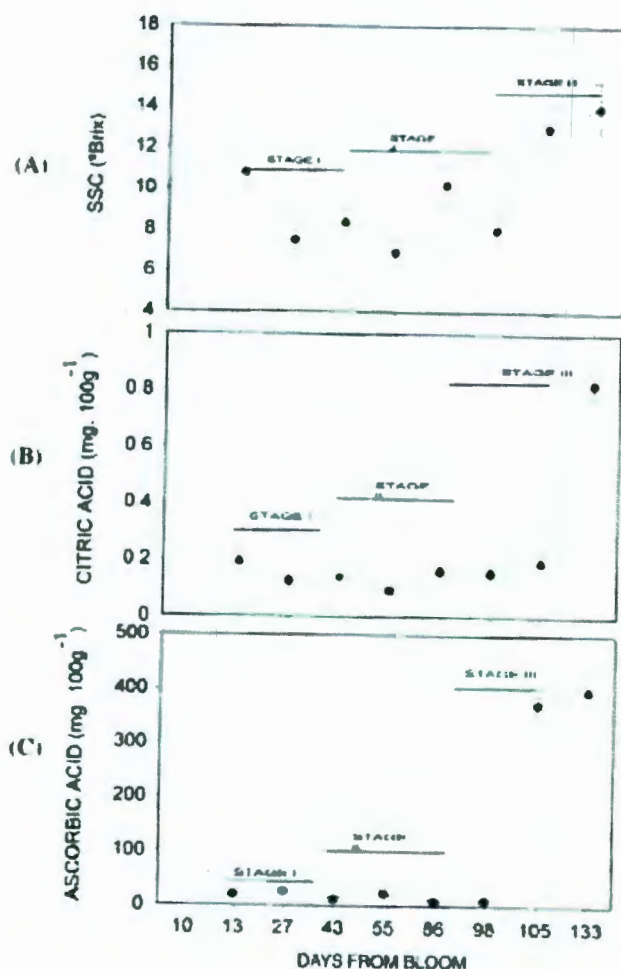


Figura 3. Cambios en SST (A), acidez titulable (B) y ácido ascórbico (C) durante el desarrollo de frutos de guayaba de la estación primavera-verano. Fuente: Mercado-Silva *et al.*, 1998

Los nivel de azúcares totales, fructosa, glucosa y sacarosa, se incrementan durante el crecimiento y desarrollo de los frutos intactos (Lazan y Ali,

1998). El mayor incremento fue registrado para la fructosa, seguida de glucosa y sacarosa.

2.1.7.2. Durante el almacenamiento

Las frutas y hortalizas una vez cosechadas siguen siendo organismos vivos capaces de realizar una serie de procesos fisiológicos que les permite desarrollar todas las características necesarias para llegar a su madurez de consumo, posteriormente le siguen otros que los llevan a la senescencia y finalmente a la muerte (Conejo-Juárez, 1998).

Varios cambios fisicoquímicos ocurren durante el almacenamiento de los frutos de guayaba. Estos incluyen cambios en peso, color, sólidos solubles totales, acidez, humedad, textura y ácido ascórbico (Adsule y Kadman, 1995). Durante el almacenamiento, la firmeza de la guayaba decrece, como se observa en la mayoría de los frutos (Pantastico, 1975).

El fruto de guayaba presenta un patrón respiratorio climatérico ya que presenta un incremento en la producción de dióxido de carbono y de etileno durante su maduración (Mercado-Silva *et al.*, 1998; García-Velasco, 1997). Mercado-Silva *et al.*, (1998) observaron que el pico climatérico se presenta en un intervalo de cinco a ocho días después de ser cosechado el fruto, esto depende de las condiciones de almacenamiento del fruto de guayaba y de la estación de producción del fruto (Figura 4).

En cuanto al contenido de sólidos solubles totales (SST), también Mercado-Silva *et al.*, (1998) indicaron un incremento en los frutos de primavera-verano de 7.8 a 10% SST en tanto que los de otoño-invierno no cambiaron esta composición (11.7% SST).

La pérdida de agua debido a la transpiración es una de las principales causas en la disminución de peso en los frutos al exponerse a temperaturas elevadas. La velocidad de transpiración depende de factores internos tales como características anatómicas y morfológicas, daño en la superficie; y externos o ambientales, como la temperatura, humedad relativa y presión atmosférica (Balderas-Escamilla, 2000). La pérdida fisiológica en peso incrementó más pronto

en cultivos de guayaba con piel más delgada que en cultivos de piel gruesa (Adsule y Kadman, 1995).

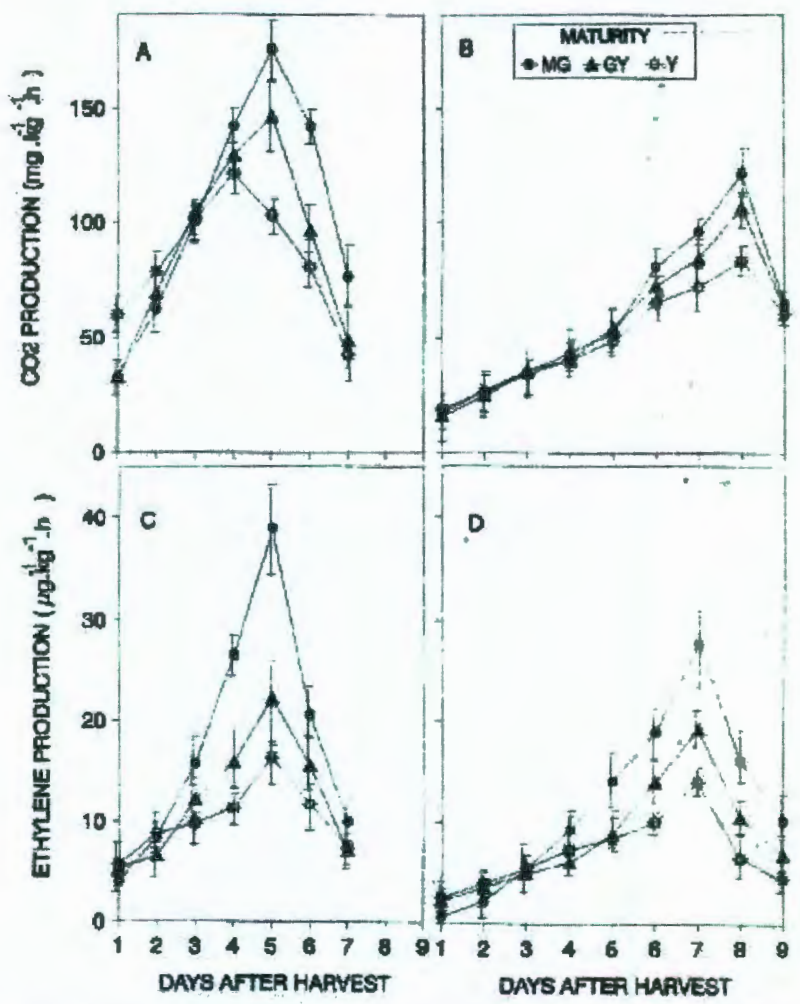


Figura 4. Cambios en respiración (A y B) y producción de etileno (C y D) a 25 °C de frutos de guayaba cosechados durante primavera-verano (A y C) y otoño-invierno (B y D). Los datos son el promedio de 5 frutos.

El patrón de cambio en acidez total titulable durante la maduración varía con el cultivar; en algunos, la acidez titulable disminuye, mientras en otros, el nivel de ácido se incrementa durante la maduración (Pauli y Goo, 1983). Para el caso de la variedad 'Media China', Mercado-Silva *et al.*, (1998) reportaron una disminución de este factor al pasar de 0.7 a 0.54%.

Conejo-Juárez (1998) reportó que en guayabas cv 'Media China' de la estación primavera-verano el contenido de azúcares fue disminuido en 3.83%

(11.74 a 11.79 g de azúcar total /100 g tejido) por efecto de almacenamiento a 4 °C durante tres semanas mas tres días a 20 °C.

2.1.8. Factores que afectan la calidad nutrimental del fruto

La calidad de un producto agrícola fresco depende de la variedad cultivada y del manejo pre y poscosecha del mismo. En este último se incluye la cosecha en la madurez fisiológica y la reducción de la carga microbiana.

2.1.8.1. Momento adecuado de cosecha o índice de cosecha

La guayaba en México se cosecha manualmente y el momento de corte depende del destino de la fruta; así los frutos que se destinan a la industria puede cosecharse en un estado de madurez más avanzado que los destinados a su consumo en fresco (Regalado-Contreras, 1999).

Se recomienda que los frutos se corten en estado verde cambiante, cuando están todavía muy firmes. Sin embargo, el mercado del Distrito Federal compra este fruto en estado maduro (amarillo) aún a expensas del deterioro de la fruta.

Colinas-León y Vázquez-Ochoa (1990), indicaron que en guayaba se conocen tres estados de madurez, de acuerdo al desarrollo del fruto, los cuales fueron determinados por el color externo de la fruta y se definieron como:

Estado de madurez I o verde maduro, máximo crecimiento del fruto, el color de la piel va desde verde oscuro a claro. Estado de madurez II o verde cambiante, donde el color de la piel es ligeramente verde o amarilla, y estado de madurez III o amarillo firme, donde el fruto es completamente amarillo.

Wilson (1980) y Salumkhe y Desai (1995), reportaron que la fruta debe cosecharse cuando se encuentra en estado de madurez fisiológica para terminar su maduración bajo condiciones controladas, y llegar a su madurez de consumo. Este factor es muy importante ya que si los frutos se cosechan inmaduros fisiológicamente, estos no maduran poscosecha y si por el contrario, se cosechan

sobre maduros la vida poscosecha es muy corta y son muy sensibles al daño mecánico.

Delgado y Pulgar (1991) recomiendan cosechar los frutos por la mañana y transportarla rápidamente a la sombra; no emplear ganchos o varillas para la cosecha debido a que causan daño mecánico e indican que es conveniente clasificar los frutos en base a su tamaño y estado madurez, además de diseñar el empaque de manera que los frutos estén protegidos y bien presentados.

El conocimiento del momento preciso (índice de cosecha) en que el fruto debe ser cortado se basaba solamente en el criterio de apariencia externa para juzgar la madurez. Actualmente, existen algunos otros índices entre ellos los índices químicos como la acidez, los sólidos solubles totales (SST) y el contenido de ácido ascórbico. Las recomendaciones es que los frutos de guayaba presente contenidos de sólidos solubles totales (SST) mayores de 12 °Bx (Mata-Beltran y Rodríguez-Mendoza, 1990).

Por otro lado, Mercado-Silva *et al.*, (1998) establecieron que el color de la guayaba medido a través de las variables L^* , a^* y Hue pueden ser tomados como índice de cosecha; estableciendo además como los valores de referencia 65 ± 3 para L^* , -15 ± 2 para a^* y 110 ± 2 para Hue para frutos de madurez fisiológica, y se ha observado que hasta el momento el color es el principal índice empleado y el más práctico.

2.1.8.2. Manejo poscosecha

Todas las operaciones aplicadas al fruto desde la cosecha deben ser llevadas a cabo de tal forma que no se comprometa la calidad del fruto o que la tasa de deterioro sea mínima. En general, para evitar el deterioro del producto deben utilizarse temperaturas bajas para su almacenamiento.

Las bajas temperaturas se aplican a la mayoría de los frutos para retrasar su proceso natural de maduración y así alargar su vida poscosecha; la temperatura de almacenamiento óptima para cualquier fruto esta en función de la variedad, el grado de madurez y el tiempo de almacenamiento requerido.

Kader (2000) recomienda almacenar los frutos de guayaba verde-cambiante entre 8 y 10 °C ya que el potencial de vida de almacenamiento es de dos a tres semanas. Lo anterior fue confirmado por Colinas-León y Vázquez-Ochoa (1990) quienes determinaron que la temperatura óptima de almacenamiento para frutos de guayaba en estado verde-cambiante es 10 °C donde se puede almacenarse hasta por dos semanas.

2.2. El empleo de 1-MCP como técnica alternativa en el manejo poscosecha de productos frutícolas

El objetivo de un buen manejo poscosecha es mantener la calidad así como el minimizar las pérdidas de estos productos. Las estrategias para la prevención de pérdidas incluye el empleo de genotipos que presentan mayor vida de anaquel, la aplicación de sistemas integrados de administración de cultivos, que resultan en buenas prácticas de empaque, y el empleo de sistemas apropiados de manejo que mantengan la calidad y el aspecto del producto.

Las técnicas empleadas para mejorar la vida de anaquel de los productos hortofrutícolas han sido muy variadas, y para aplicarlas correctamente es necesario entender los procesos fisiológicos de los frutos (Kader 2003).

Adams y Yang (citados por Kader, 2003) identificaron al ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) como el precursor del etileno, por otro lado, se reconoció a la ACC sintasa y a la ACC oxidasa como las enzimas clave en la biosíntesis de etileno (Saltveit et al, 1998, citado por Kader, 2003). El modelo de síntesis y efectos del etileno quedo finalmente resumido, teóricamente, en la Figura 5.

Los análisis genético y molecular del desarrollo de frutales, y especialmente el proceso de maduración de frutos frescos, ha resultado en un importante avance en el conocimiento acerca de la acción del etileno, el metabolismo de la pared celular y los factores ambientales que influyen en la maduración (Grierson, 1987,; Seymour et. al., 1993; Giovannoni, 2001,; citados por Kader, 2003). El aislamiento de genes relacionados con la maduración en frutos se ha traducido no solamente en una herramienta para el estudio del efecto

específico de los productos genéticos en la maduración sino también oportunidades para aislar y estudiar los elementos de regulación genética que pueden discernir el mecanismo regulatorio (Giovannoni, 2001, citado por Kader, 2003). La suma de factores que influyen la biosíntesis de etileno y su acción se presentan en la Figura 6.

Las investigaciones encaminadas a mantener la calidad y seguridad de los productos frescos (horto-frutícolas) se han incrementado considerablemente durante los últimos 15 años en respuesta al desarrollo comercial de los productos “listos para comer” cuya principal característica es el valor agregado. Se han desarrollado estrategias para disminuir el ablandamiento y oscurecimiento en tejidos vegetales (Gorny, 2002; Lamikarna, 2002; citados por Kader, 2003) pero es necesario seguir con las investigaciones encaminadas a prolongar la vida de anaquel, tomando en cuenta las características sensoriales y calidad nutricional.

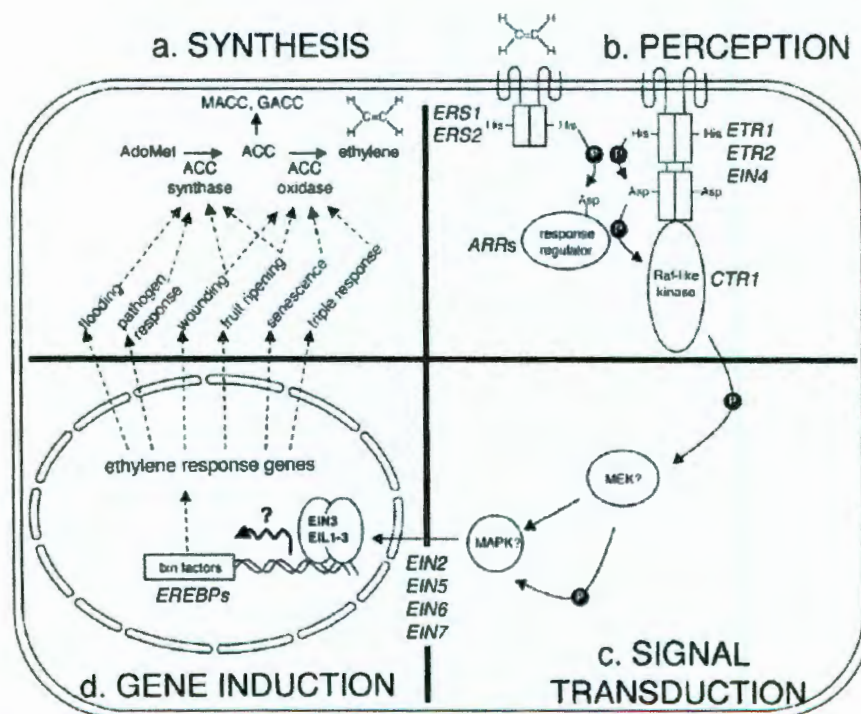


Figura 5. Regulación de etileno a nivel celular
Fuente: Retamales, 2003.

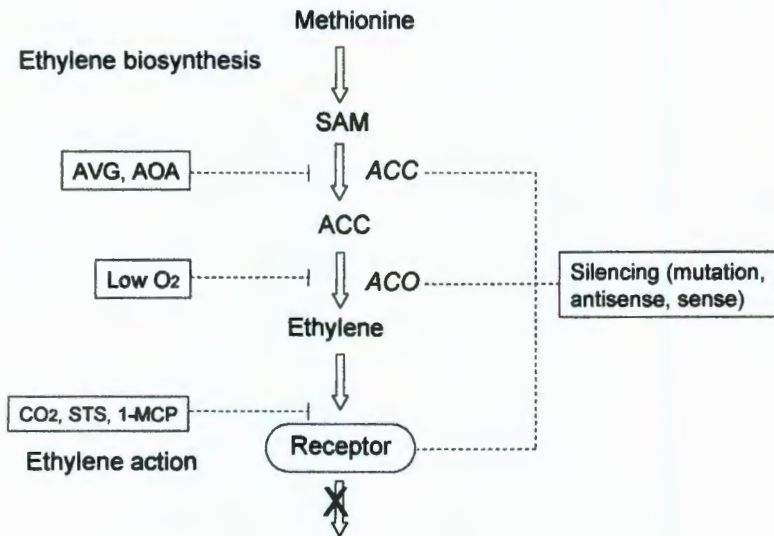


Figura 6. Resumen de factores que influyen en la biosíntesis y acción del etileno
Fuente: Kader, 2003.

El control de temperatura y humedad relativa (RH) es la herramienta más importante para mantener la calidad y seguridad de hortalizas, frutos, vegetales y ornamentales.

Algunas tecnologías empleadas para reducir la pérdida de agua incluyen el empleo de películas de polímeros (Ben Yehoshua, 1985, citado por Kader, 2003) y cubiertas superficiales (Amarante y Banks, 2001; Baldwin, 1994; citados por Kader, 2003). El uso de películas poliméricas y su aplicación conjunta con atmósferas modificadas (AM) en recipientes rígidos o flexibles, contenedores y otros sistemas de empaque, continúan en aumento (Bready, 2000; Kader *et al.*, 1989; Lange, 2000; Watkins, 2000; citados por Kader, 2003).

El empleo de atmósferas modificadas (normalmente 2%-4% de oxígeno y de 8% a 12% de dióxido de carbono) son ampliamente usadas para aumentar la vida de anaquel de vegetales, frutos y productos frescos. Se ha incrementado el empleo de absorbentes de etileno, CO₂, O₂ y vapor de agua como parte de las atmósferas modificadas. En guayaba, Benito-Bautista (2002) encontró que los frutos tratados con atmósferas al 5% de CO₂ conservaron la textura, el sabor, la apariencia, el color del fruto y redujeron los síntomas de daño por frío.

El proceso de senescencia en cultivos hortícolas y frutales promovido por el etileno a concentraciones menores a 0.1 ppm generan la aceleración del deterioro y reduce la vida poscosecha. El etileno acelera la degradación de clorofila causando amarillamiento de tejidos reduciendo la calidad de las hojas, flores, frutos inmaduros, así como vegetales y plantas ornamentales. Además, induce la abscisión de hojas y flores, el ablandamiento de frutos y una diversidad de desordenes fisiológicos. El etileno puede incrementar el desarrollo de pudriciones de algunos frutos al acelerar la senescencia y el ablandamiento por la inhibición de la formación de compuestos antifúngicos en el tejido hospedero. En algunos casos, el etileno puede estimular el crecimiento de hongos tales como *Botrytis cinerea* en fresas y *Penicillium italicum* en naranjas (Sommer, 1989; citado por Kader, 2003).

Las bajas temperaturas, las atmósferas modificadas o controladas, el tratamiento de ornamentales con tiosulfato de plata y el control de la concentración de etileno, o la eliminación de éste de la atmósfera, son algunas técnicas empleadas para reducir el daño por etileno. La síntesis del gas inhibidor del etileno, el 1-metil ciclopropeno (1-MCP), en la década de los noventa (Sisler y Blankenship, 1996, citados por Kader, 2003) es el principal avance en esta materia. Desde 1999, el 1-MCP a sido usado bajo el nombre comercial "Ethylbloc" para el tratamiento de flores y otros cultivos ornamentales para promover su insensibilidad a la acción del etileno y sus efectos detrimentales. En junio de 2002, el 1-MCP a concentraciones por debajo de 1 ppm fue aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos para ser empleado en manzanas, duraznos, aguacate, kiwi, mango, nectarinas, papayas, peras, persimonia y jitomate. Las primeras aplicaciones comerciales han sido en manzanas para retardar su ablandamiento y extender su vida de anaquel. Conforme se realicen más investigaciones, seguramente se encontraran muchas más aplicaciones que extiendan el uso del 1-MCP a otros productos (Blankenship y Dole, 2003, citados por Kader, 2003).

El 1-MCP tiene mayor afinidad por los sitios de unión del etileno que el mismo etileno. De esta forma, el 1-MCP compite por estos sitios y no permite que

el etileno dispara la cadena de transducción de señales en la célula, como lo muestra la Figura 7. El etileno se acopla a una región del receptor, la alteración química de la molécula produce la transcripción en ARNm para la formación de proteínas y enzimas responsables de la maduración. Compuestos análogos al etileno se acoplan al receptor en forma prolongada y la característica química de la molécula impide la secuencia descrita para el etileno y su acción (Zoffoli, 2002). Se ha encontrado que los procesos de maduración y senescencia en donde se involucra al etileno se desarrollan posteriormente por la síntesis de nuevos sitios de unión.

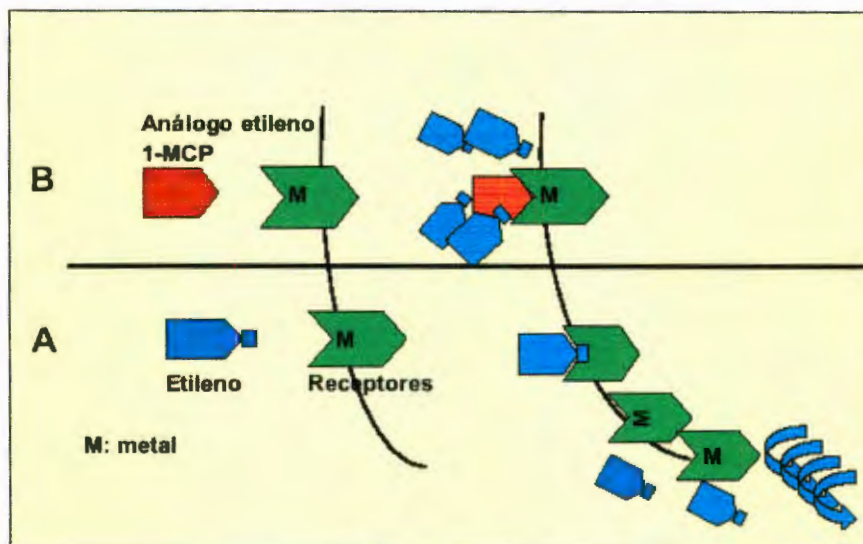


Figura 7. Esquema que representa la interacción entre etileno (A) y sus análogos (B) con los receptores en la membrana (Zoffoli, 2002).

2.2.1. Estudios realizados con 1-MCP en frutos climatéricos

El 1-MCP se emplea en algunos frutos en concentraciones del orden de 1-10 ppm en manzana, por ejemplo (Beaudry, 2001; Mattheis, 2002), en otros como el jitomate y aguacate se usa a 1 ppm y 400 ppm, respectivamente (Huber, 2003).

Bassetto (2002) en Brasil probó concentraciones de 1-MCP aplicado en guayaba del orden de 0.06 a 0.9 ppm en guayaba "Pedro Sato" a diferentes tiempos de exposición, y a temperatura de 10 °C y 25 °C. En este estudio se

analizaron el color de la cáscara, el color de la pulpa, la pérdida de peso del fruto, la firmeza, la acidez total titulable, el porcentaje de ácido ascórbico, el porcentaje de sólidos solubles totales de la pulpa y la incidencia de podredumbre. Algunas observaciones de interés fueron que las frutas tratadas con 240 nL L^{-1} (0.24 ppm) de 1-MCP durante 6 y 12 horas de exposición almacenadas a $10 \text{ }^\circ\text{C}$, mostraron la mejor retención de color y menor incidencia de podredumbre. Se concluyó que el mejor tratamiento para la conservación de la guayaba fue de 900 nL L^{-1} (0.9 ppm) con un tiempo de exposición de 3 horas, alcanzando un total de 16 días en almacenamiento a $10 \text{ }^\circ\text{C}$ con buenas características comerciales (Bassetto, 2002).

2.3. La fertilización como factor de precosecha determinante en la calidad del fruto

Muy diversas han sido los estudios y publicaciones en torno al efecto de la fertilización sobre la calidad y rendimiento en frutales. En el caso del guayabo, se tienen diferentes recomendaciones prácticas de fertilización. Campbell y Malo (1968) indicaron que después de la plantación se debe aplicar fertilizante cada 60 días con 125 g de una fórmula que contenga de 8 a 10% de nitrógeno, 3 a 4% de fósforo, 8 a 10% de potasio y 4 a 5% de magnesio. Y al segundo año aumentar la cantidad de fertilizante a 450 g por árbol.

Shigeura (1973) (citado por Mena, 2000) propuso un programa de fertilización para el cultivo del guayabo en Hawai, con la fórmula 15-15-15 (N,P,K), en el cual presenta dos cantidades de fertilizante para un mismo año, esta se duplica anualmente y en el sexto año se estabiliza. (Cuadro 3).

En el año 2000, Mena realizó un análisis que sirve de referencia para conocer la concentración de nutrientes en las hojas del guayabo. Este análisis se presenta en el Cuadro 4. Una revisión de diferentes formulas de fertilización utilizadas en guayaba se presentan en el Cuadro 5.

En el Campo Agrícola Experimental Pabellón, Aguascalientes, los mejores resultados han sido obtenidos con las fórmulas 50-40-50 y 90-80-80, repartida en dos aplicaciones; la primera se realiza un mes antes de la floración, con la mitad

de nitrógeno, y el total de fósforo y potasio. Seis a ocho semanas después de la brotación, se aplica el resto del nitrógeno (Valadéz, 1977, citado por Mena, 2000).

Cuadro 3. Programa de fertilización para el cultivo de la guayaba durante el desarrollo fenológico en Hawai

Edad de la plantación	Fertilizante (kg/árbol)	Aplicaciones por año
	15-15-15	
1 año	0.226	4
	0.453	
2 años	0.453	4
	0.907	
3 años	1.907	3
	1.814	
4 años	1.360	3
	1.814	
5 años	1.814	4
	2.720	
6 años	1.814	3
	3.175	

Fuente: Shigeura, 1973.

Cuadro 4. Concentración nutrimental normal en hojas de árboles de guayaba (%)

	N	P	K	Mg	Na	Ca	Fe	Zn	Mn	Cu	B
	%						Ppm				
Mínimo	1.65	0.14	1.77	0.21	0.10	0.4	69	43	60	8	20
Máximo	2.37	1.60	2.67	0.38	0.34	1.5	145	66			

Fuente: Mena, 2000.

Existe una recomendación de fertilización para frutales conocida como "Método de Grosor del Tronco" que consiste en aplicar 220 g de fertilizante, con la fórmula 15-15-15 (NPK) por cada 2.5 cm de diámetro del tronco por año (Campbell y Malo, 1968).

El momento y cantidad de las aplicaciones de fertilizante están basadas en el análisis del suelo, así como en las expectativas de producción y la extracción de nutrientes del suelo por cada tonelada de fruta producida (Borys, M. y Alcalde, B. 1987).

Cuadro 5. Diferentes fórmulas de fertilización usadas en guayaba

Fórmula N P K	Dosis	Rendimiento	Autor
80 80 80	kg/ha	21.5-31.9 ton/ha	Mosqueda (1981)
260 160 260	g/árbol	42.8 kg/árbol	Mitra y Bose (1985)
260 320 260	g/árbol	Frutos de 174.4 g	Mitra y Bose (1985)
130 0.0 260 + 20 kg de estiércol de res	g/árbol	Aumentó un 21% el peso de la fruto	Mitra (1987)
122 65 61 + Zn Fe Cu Mn Mg 15 22.2 15 15 6 + 30 kg de estiércol de res	kg/ha (El N se fraccionó en tres partes y los micronutrientes se aplicaron foliarmente)	Incrementó hasta en 72% el rendimiento y la firmeza del fruto	Domínguez y Nieto (1966)
80.8 66.8 125.6	kg/ha	Incrementó tamaño, peso y vida de anaquel	Mena y López (1999)
73.3 64 64 11.4	kg/ha	Incrementó tamaño, peso y vida de anaquel	Mena y López (1999)

Fuente: Mena, 2000.

En la primera mitad del Siglo XX, las investigaciones sobre la nutrición del fruto buscaron optimizar el crecimiento del árbol y la mejora del fruto. Recientemente, se ha puesto énfasis en el efecto del nivel nutricional del fruto sobre la conservación de la calidad del mismo con un enfoque especial en la relación de los niveles de calcio (Bramlage *et al.*, 1980).

La literatura relacionada con los efectos de fertilización sobre el contenido de nutrientes es muy amplia y generalmente contradictoria, probablemente por las variaciones de la composición del suelo, disponibilidad del agua, y factores ambientales. Sin embargo, una adecuada fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, boro y hierro es esencial para el crecimiento normal de la planta y para obtener adecuados rendimientos con alta calidad del fruto (Salukhe y Desai., 1991).

La carencia de algunos de los elementos mayores ocasiona la reducción del crecimiento de la planta, en el rendimiento y en el tamaño del fruto (Mata-

Beltrán y Rodríguez-Mendoza, 1990). Araujo *et al.* (1997) reportaron que para la producción de una tonelada de guayaba tipo "Criolla Roja", los guayabos extrajeron del suelo N, K, Ca, P, Na y Mg (1.83, 1.62, 0.9, 0.39, 0.24 y 0.22 kg, respectivamente).

Por lo tanto, para obtener producciones altas y sostenidas de buena calidad, es necesario mantener aplicaciones de estos nutrientes a través de un programa de fertilización por restitución, en elementos como el calcio, que generalmente aparecen en bajas concentraciones o están ausentes en los fertilizantes comúnmente utilizados.

Vinicio-Rosales (2000) sugiere la fertilización de los árboles de guayaba de acuerdo con la edad del mismo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Fórmulas recomendadas de fertilización para árboles de guayaba según su edad

EDAD (AÑOS)	Tipo de abono					
	N (g)	P (g)	K (g)	Sulfato de Amonio (g)	Fosfato (g)	Potasio (g)
1	40	40	40	200	220	80
2	60	60	60	300	330	120
3-4	120	120	120	600	660	240
5-6	200	120	200	1000	660	400
7-8	250	140	250	1250	770	500
9-10	300	180	300	1500	990	600
11 y más	400	200	400	2000	1100	800

Fuente: Vinicio-Rosales, (2000)

La aplicación de nutrientes a través del follaje es ampliamente practicada para la producción de cultivos frutícolas. La fertilización foliar con macronutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio generalmente no son efectivos ya que no hay suficiente absorción de estos para corregir deficiencias por períodos largos. Estos macronutrientes pueden ser administrados adecuadamente a través del suelo (Christensen, 1997).

2.3.1. El potasio en la composición del fruto

Los cultivos de frutales requieren de altas cantidades de nutrientes, particularmente el potasio. Con la cantidad suficiente del nutriente en fórmulas balanceadas aplicadas a los cultivos de árboles frutales, se mejora el rendimiento y la calidad de los frutos. La influencia del potasio en la calidad del fruto es más determinante que cualquier otro nutriente de la planta. Es importante, principalmente durante la formación y llenado del fruto (Chacín *et al.*, 1999).

Se ha observado que este elemento proporciona firmeza, aroma y dulzura en el fruto. La aspersiones al follaje con 1% de sulfato de potasio cada siete días después del amarre hasta un total de siete aplicaciones, ayudan a madurar al fruto en la cosecha de invierno y, además, mejora significativamente su calidad al incrementar los SST y los azúcares totales (Mata-Beltrán y Rodríguez-Mendoza, 1990).

Si la deficiencia de potasio es moderada, la acidez del fruto generalmente se reduce y la síntesis de antocianinas puede disminuir (Bramlage *et al.*, 1980).

2.3.2. Funciones del nitrógeno en la planta

El nitrógeno es un constituyente de las proteínas y participa directamente en la síntesis y funciones metabólicas de la planta. Esto explica la importancia del nitrógeno en el crecimiento y rendimiento del fruto (Mengel y Kikby 1978). Se debe poner en atención a cuándo, cómo y qué tipo de nitrógeno se debe aplicar, por lo que es importante tomar en cuenta las siguientes consideraciones (Barrett *et al.*, 1998):

1. El nitrógeno en forma nítrica está disponible de inmediato a las plantas y debe usarse en los casos cuando es necesario una fuente inmediata de nitrógeno, especialmente en los suelos bajos en materia orgánica, donde la actividad microbiana pudiera estar limitada. El nitrógeno en forma de nitrato puede ser muy útil para las plantas, en donde el suelo esta sometido a bajas

temperaturas. Sin embargo, la forma de nitrato puede lixiviarse en los suelos de baja capacidad de intercambio, perdiéndose su aprovechamiento por las plantas.

2. El nitrógeno en forma amoniacal es inmóvil y no se lixiviará tan rápidamente como la forma de nitrato. Una pequeña cantidad es utilizada por las plantas jóvenes como iones de amonio, pero la mayoría permanece en el suelo hasta convertirse en nitritos y después a nitratos, los cuales son procesos biológicos. El nitrógeno amoniacal se aplica, de preferencia, previamente a la temporada de cultivo.

3. El nitrógeno en forma de urea, es soluble directamente en agua pero generalmente no está sometida al lixiviado, en la medida que se convierte a la forma amoniacal del nitrógeno, la urea es retenida en el suelo hasta que ocurra la nitrificación.

4. El nitrógeno en forma de nitrato no se libera de la materia orgánica, a través de la mineralización, hasta que la temperatura del suelo alcance 10 °C.

5. La remolacha azucarera, las papas y los árboles frutales requieren recibir cantidades adecuadas de nitrógeno hasta que los frutos maduren. (Barrett *et al* 1998).

Teóricamente, las plantas deberían preferir el amonio que el nitrato, pues su absorción hace que el amonio sea directamente utilizable en la formación de proteínas.

El nitrato, por el contrario, debe ser transformado mediante el proceso de reducción nítrica (en la raíz o en las hojas); el amonio en amino, lo que supone un gasto de energía. Pero este argumento "energético" no es válido, ya que las plantas disponen de la energía química procedente de los productos fotosintéticos sobrantes. Incluso en los ensayos en recipientes resulta difícil determinar con

exactitud la alternativa "amonio nitrato" a causa de las inevitables perturbaciones de los efectos secundarios. Sin embargo, hay muchos datos a favor de estas dos formas principales de nutrientes son equivalentes para los objetivos del abonado práctico (Finck, 1981).

Las diferencias que existen entre los abonos amoniacales y nítricos se deben en la mayoría de los casos a otra causa. Las diferencias de sus efectos pueden, por ejemplo, ser debidas a la reacción del suelo.

-En los suelos fuertemente ácidos (pH inferior a 5), los nitratos son doblemente efectivos, porque no alteran el pH.

-En los suelos moderadamente o ligeramente ácidos (pH 5-7) ambas formas presentan efectos similares.

-En los suelos neutros o ligeramente básicos (pH 7- 7.5), la forma amoniacal resulta más eficaz, porque tienen un efecto secundario acidificante.

-En los suelos fuertemente alcalinos (por encima de pH 7.5), no conviene generalmente utilizar el amonio, pues produce pérdidas de amoniaco gaseoso.

Como causa de esta diferencia entre los efectos del amoniaco y del nitrato suele aducirse también la preferencia de algunas plantas por una u otra forma nitrogenada; pero la causa principal de esta posible preferencia es debida más bien a diversos efectos secundarios (Finck, 1981). Una alta concentración de amonio en las plantas puede conducir a toxicidad amoniacal, debido al incremento de pH en los tejidos. El nitrato también estimula la producción de materia seca en la planta, lo que conduce a altos rendimientos, además promueve la absorción de cationes esenciales por la planta, como calcio, magnesio y potasio (Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{1+}) mientras que el nitrógeno amoniacal tiene el efecto opuesto (Ikeda y Oswa, 1982).

2.3.3. Funciones del calcio

El calcio es un ejemplo evidente de la efectividad del suministro de los macronutrientes en suelo debido a que la acumulación del calcio en el fruto depende fundamentalmente de la absorción de este elemento directamente del suelo durante la fase del llenado del fruto, más que de su redistribución interna,

debido a la poca translocabilidad del mismo dentro de la planta (Chacín *et al.*, 1999).

Este elemento retarda el proceso de senescencia y este efecto se relaciona con su acción en tres diferentes sitios dentro de las células de las plantas:

a) Evita incremento de la microviscosidad y mantiene la estructura y función de la membrana y pared celular (Poovaiah, 1986).

b) Fortalece la pared celular por la interacción de este ión con el ácido péctico de la pared celular formando el pectato de calcio. Por lo tanto, los frutos tratados con calcio son generalmente más firmes que los controles (Bramlage, 1980; Zocchi y Magnani, 1995; Poovaiah, 1986; Gerasopoulos *et al.*, 1996; Gerasopoulos y Richardson, 1999).

Debido a que el calcio retrasa la maduración de los frutos ha sido exitosamente utilizado para extender su vida de anaquel en varios de ellos. En los frutos se observa este retraso del proceso de maduración por los bajos cambios de color, poca pérdida de firmeza en los frutos, baja producción de CO₂ y C₂H₄, incrementos en el contenido de azúcar y reducción en el contenido de acidez titulable (Gerasopoulos *et al.*, 1996). Gerasopoulos y Richardson, (1999) citan la baja producción de la actividad de la ACC oxidasa, la cual es una enzima clave en la biosíntesis de etileno.

La aplicación de sales de calcio en distintos frutos puede incrementar la firmeza, acidez, sólidos solubles y puede prevenir la manifestación de desordenes, como la caída de la flor en el tomate (Salunkhe y Desai, 1995). También puede incrementar el contenido de vitamina C o alterar el contenido de clorofila y proteínas (Poovaiah, 1986).

En las aplicaciones de calcio, existe la tendencia a considerarlo, exclusivamente como enmienda del suelo, con la finalidad de elevar pH de los suelos ácidos, a un valor más favorable, aunque mejora la estructura de los mismos y aunado a estos efectos es un elemento esencial en la nutrición vegetal. Si bien la cantidad que se requiere para producir un cambio en la cantidad que se requiere para producir un cambio en la reacción del suelo, es demasiado elevada,

bastan sólo pequeñas dosis para cubrir la demanda de la planta. Así como en el caso del potasio, las funciones del calcio dentro del metabolismo vegetal, son también en gran parte de naturaleza químico-coloidal, conjuntamente con otros iones regula el estado de turgencias del plasma coloidal, lo cual es necesario para la realización normal de las reacciones metabólicas. De esta manera el calcio influye sobre la economía acuosa de la planta, sobre los carbohidratos, proteínas en el metabolismo graso, y sobre otros aspectos fisiológicos (Jacob y Von, 1973).

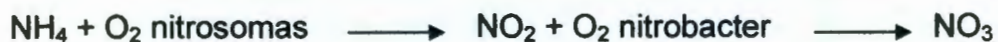
Por otra parte un exceso de calcio inhibe la asimilación del potasio y viceversa, de tal manera que una relación óptima potasio/calcio resulta ser de bastante importancia. Este elemento desempeña cierto papel en la neutralización de los ácidos orgánicos de la planta. Según parece, también es importante en la absorción de nitrógeno (Jacob y Von, 1973).

Cabe mencionar que las relaciones de equilibrio entre el Ca con otros nutrientes tienen un efecto directo sobre la producción y calidad del fruto, posiblemente por su acción sobre la disponibilidad, absorción y funcionalidad de los mismos (Moreno *et al.*, 1999).

2.3.4. Importancia de la fuente de nitrógeno

Los abonos amoniacales son de efecto moderadamente rápido. Aunque el amonio puede ser absorbido directamente por las raíces, sólo alcanza una mayor movilidad en la planta después de sus transformación en nitrato por medio de bacterias del suelo, las cuales absorben energía en la transformación (Barrett *et al.*, 1998).

La nitrificación puede representarse simplificada de la manera siguiente:



Finck (1981) propone que cuando se aplican fertilizantes nítricos en el suelo, el nitrato es inmediatamente asimilado por las plantas, sin necesidad de transformación, debido a que se mueve con el flujo del agua, en las cercanías de las raíces, hasta alcanzar la superficie externa de éstas.

Ikeda y Kirkby (1968) (citados por Mena, 2000), señalan que el nitrógeno nítrico promueve además la absorción de cationes esenciales por la planta como Ca^{++} , Mg^{++} y K^+ , mientras que el nitrógeno amoniacal tiene un efecto contrario.

Gormey y Gollagher (1972) reportan que al aplicar nitrato de potasio se promueve la apertura de botones florales, por lo tanto aumenta el número de frutas por árbol, evita la caída de frutas, estimula la madurez, aumenta el tamaño de frutos, el contenido de sólido solubles, mejora la conservación e incrementa el periodo de vida en anaquel del fruto.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de 1-MCP y de distintos tipos de fertilización en la calidad y la vida de anaquel de frutos de guayaba (*Psidium guajava*) cv 'Media China' de la región productora de Michoacán, México.

3.2. Objetivos específicos

1. Determinar la concentración y tiempo de exposición óptimos de la aplicación de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) para lograr una mayor vida de anaquel de los frutos de guayaba.

2. Determinar los efectos de la aplicación de 1-MCP en las características fisicoquímicas de los frutos de guayaba.

3. Determinar los efectos de la aplicación de 1-MCP en las características sensoriales de los frutos.

4. Determinar los efectos de la aplicación de 1-MCP en la actividad de la poligalacturonasa de los frutos de guayaba.

5. Establecer los niveles y recomendaciones de uso de 1-MCP en frutos de guayaba.

6. Estudiar el efecto del tipo de fertilización sobre la calidad de los frutos de guayaba.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Material biológico y cosecha

4.1.1. Material biológico

El material biológico empleado en este estudio fueron frutos de guayaba (*Psidium guajava*) de la variedad 'Media China', producidos en los municipios de Zitácuaro y Jungapeo, Michoacán, México, y cosechados durante los meses de Agosto de 2004 a Marzo de 2005.

4.1.2. Cosecha y empaque

Los frutos fueron cosechados en madurez fisiológica, reconocidos por su color verde brillante y un ligero cambio de coloración hacia el amarillo ("rayado") para asegurar que los frutos alcanzaran su madurez completa poscosecha. En cuanto a su tamaño, se seleccionaron frutos con peso entre 50 y 60 g. La cosecha se realizó con el máximo cuidado para evitar daños mecánicos, cortando los frutos con guantes de látex, girándolos ligeramente y al mismo tiempo aplicando una tensión y torción para desprenderlos adecuadamente. Los frutos fueron colocados directamente en cajas "guayaberas" de cartón corrugado (aproximadamente 13 kg) evitando golpear las guayabas y cuidando que el número de frutos fuera de 100-150 por caja; posteriormente fueron llevados al proceso de preenfriado cerca de los huertos de cultivo.

El preenfriado se realizó con agua helada a 5°C, en ésta se sumergieron los frutos durante 10 min. Al término de dicho tiempo, los frutos se sacaron y se escurrieron y nuevamente se reempacaron en cajas de cartón. Para evitar al máximo los daños por vibración y compresión durante el transporte al laboratorio, los frutos fueron colocados dentro de la caja en tres capas simples de fruta, cada una de ellas se separó de las otras con un material suave de algodón ("guata"). En esta condición fueron llevados hasta el laboratorio en Querétaro donde fueron almacenados durante una noche a 10°C. Posteriormente, los frutos fueron

releccionados por madurez y aleatorizados en los tratamientos correspondientes.

4.2. Estrategia experimental seguida

En la Figura siguiente se muestra la estrategia experimental desarrollada en el presente trabajo.

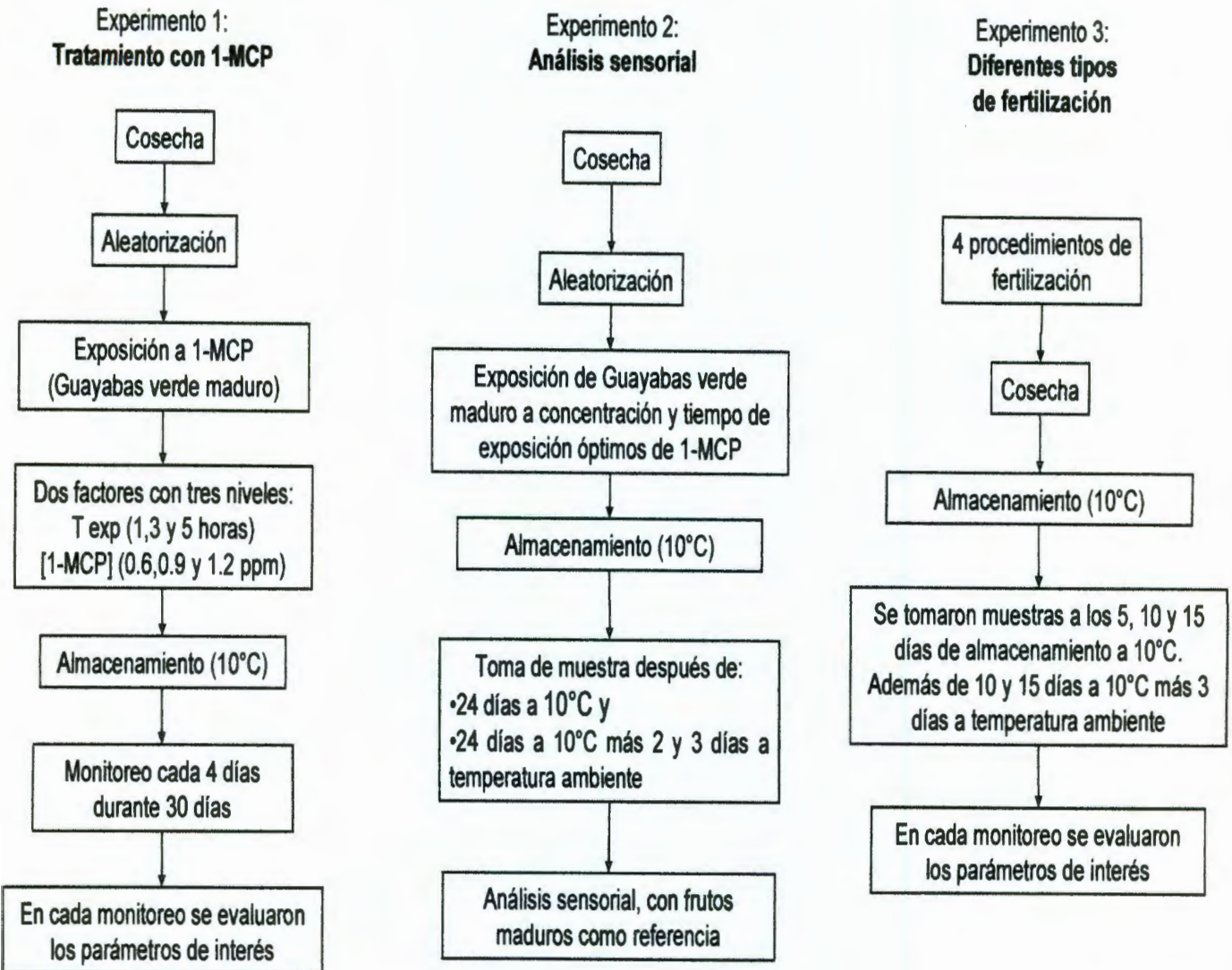


Figura 8. Estrategia experimental seguida.

4.3. Experimentos

En este trabajo se determinaron los efectos que tuvieron tanto la aplicación de 1-MCP poscosecha así como el tipo de fertilización en precosecha, en la calidad y vida poscosecha del fruto de guayaba, por ello fue necesario plantear dos diseños experimentales diferentes para cubrir ambas partes del trabajo. Adicionalmente, se realizó otro experimento para evaluar exclusivamente los efectos de la aplicación de 1-MCP en las características sensoriales de los frutos de guayaba.

4.3.1. Efecto del tratamiento con 1-MCP

Los frutos fueron cosechados en octubre de 2004, se aleatorizaron en 10 grupos de 30 frutos cada uno. Cada grupo fue dispuesto en un recipiente de vidrio de 14 litros de capacidad y cada uno de ellos estuvo acoplado a un flujo de aire (20 L min^{-1} aproximadamente) humidificado al interior de cada recipiente. Los volúmenes de cada recipiente así como las cantidades de 1 MCP agregadas a cada uno de ellos y las concentraciones alcanzadas en los diferentes tratamientos se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Identificación de tratamientos, concentración de 1-MCP, tiempos de exposición y cantidad de producto comercial agregado en los tratamientos

No. De recipiente	Tratamiento	[1-MCP] (ppm)	Tiempo de exposición (h)	Volumen (L)	g de SmartFresh
1	1	0.6	1	14.43	0.0139
2	2	0.6	3	14.14	0.0136
3	3	0.6	5	14.02	0.0135
4	4	0.9	1	14.82	0.0213
5	5	0.9	3	14.85	0.0214
6	6	0.9	5	14.73	0.0212
7	7	1.2	1	14.32	0.0275
8	8	1.2	3	14.21	0.0273
9	9	1.2	5	14.39	0.0276
0	Testigo	0	0	14.19	0

Todos los tratamientos fueron comparados contra un grupo de frutos control, al cual no se le aplicó 1-MCP pero se mantuvo bajo la misma corriente de

aire. Los criterios para establecer las concentraciones a estudiar se basaron en diferentes reportes sobre las aplicaciones de 1-MCP en diferentes productos hortofrutícolas, donde se ha observado que la concentración óptima oscila entre 50 y 1,000 ppb (Botrel *et al*, 2002; Bready, 2001; Ekman *et al*, 2004).

Para el caso de guayaba de la variedad 'Pedro Sato' de Brasil; Bassetto (2002) estudió un margen de concentraciones de 60 a 900 ppb. Para la aplicación del 1-MCP, se procedió conforme a lo reportado por Zoffoli (2002), quien menciona la forma de calcular la cantidad de producto comercial (SmartFresh®). Para obtener la concentración deseada: el cálculo precisa conocer el volumen de los recipientes en los que se coloca el producto para su exposición al gas. Si se considera que 1.6 g de SmartFresh® (al 0.14%) en un metro cúbico genera un concentración de 1 ppm de gas (compuesto activo), se puede obtener por extrapolación la cantidad requerida en el volumen de cada recipiente. Los resultados obtenidos se muestran también en el Cuadro 7.

La cantidad del compuesto comercial para cada tratamiento, se colocó en un vaso de precipitados y dentro de cada uno de los recipientes; se añadió 60 mL de agua destilada a 40 °C. De forma inmediata, cada recipiente se cerró herméticamente, se colocó sobre un agitador magnético para facilitar la disolución y liberación del compuesto (Figura 9). Todos los tratamientos estuvieron colocados a temperatura ambiente durante el tiempo que duró la aplicación del 1-MCP.



Figura 9. Disposición de frutos en cámara hermética expuestos a 1-MCP.

Después de la exposición de cada tratamiento al 1 MCP, los recipientes se abrieron y se retiraron cada uno de los vasos con la solución del producto. Posteriormente se volvieron a cerrar los recipientes, se trasladaron a una cámara de refrigeración a 10°C donde se les acopló un flujo de aire humidificado independiente (20 L/h) a cada uno de los tratamientos que se mantuvo durante todo el periodo de almacenamiento (Figura 10).

Cada cuatro días y durante un periodo de 30 días de almacenamiento, se retiraron muestras de tres frutos de cada uno de los tratamientos estudiados, en los cuales se realizaron los análisis de azúcares totales, acidez titulable, color, tasa de respiración y textura. Es importante aclarar que un fruto representó a una unidad experimental.



Figura 10. Disposición de los vitroleros en el tren de respiración.

Las determinaciones de tasa de respiración y producción de etileno se llevaron a cabo en tres frutos independientes de las muestras tomadas para los análisis fisicoquímicos y no fueron reemplazados por otras muestras; una vez registrados los valores de estos parámetros, los frutos se regresaban a su tratamiento correspondiente para ser analizados en el periodo de muestreo siguiente.

Con el fin de determinar el efecto sobre las propiedades sensoriales de los frutos después de su tratamiento con 1-MCP, se repitió el proceso para

obtener los frutos a analizar, empleando para ello el mejor tratamiento resultante de este experimento.

4.3.2. Efecto de la fertilización en la calidad del fruto

Los fertilizantes empleados fueron los siguientes:

- Sulfato de amonio
- Superfosfato de calcio simple
- Nitrato de calcio
- Nitrofoska ®
- Lombricomposta

El contenido de elementos nutritivos del superfosfato de calcio simple ($\text{CaH}_4\text{-}(\text{PO}_4)_2$) corresponde a 26.6% de Ca y 7% de P. El nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) contiene un 23.5% de Ca y 16.5 de N, y el sulfato de amonio contiene 20.5 % de N. El fertilizante Triple 17 fue una mezcla comercial, la cual aporta 17% de cada uno de los principales macronutrientes (N, P, K). Al igual que este último, el Nitrofoska ® es una mezcla patentada la cual se muestra en el Cuadro 8.

Este fertilizante es complejo, es considerado como de liberación lenta ya que está parcialmente recubierto con Poligen®, especialmente indicado para la fertilización de fondo de cultivos intensivos (por ejemplo hortícolas) y para el abono de frutales de cosecha tardía (<http://www.compo.es/>, 2006).

Finalmente, la lombricomposta, mas que un fertilizante es considerado como un mejorador de suelo elaborado a partir de la descomposición de desechos orgánicos, en la cual se emplean ciertas especies de lombrices para facilitar el proceso. Las características de este producto son las siguientes:

- Proporciona a los suelos permeabilidad tanto para el aire como para el agua.
- Aumenta la retención de agua y la capacidad de almacenar y liberar los nutrientes requeridos por las plantas en forma sana y equilibrada.

- Su pH es neutro y se puede aplicar en cualquier dosis sin riesgo de quemar las plantas, la química del humus de lombriz es equilibrada y nos permite colocar una semilla en el sin ningún riesgo.
- No contiene productos químicos que alteren el ecosistema del suelo
- Presenta una alta carga microbiana que restaura la actividad biológica del suelo; esta flora bacteriana es la que desempeña las funciones vinculadas a la absorción de nutrientes por las raíces.

Cuadro 8. Características químicas del fertilizante Nitrofoska®

Nitrofoska® Azul (12-12-17s (+2))	
Elementos nutritivos	Porcentaje de nutrientes
Nitrógeno (N) total	12
Nítrico	5,5
Amoniacal	6,5
Pentóxido de fósforo (P₂O₅)	
<i>soluble en agua y citrato ámonico neutro</i>	12
soluble en agua	6
Óxido de potasio (K₂O) soluble en agua y procedente de sulfato	17
Óxido de magnesio (MgO) total	2
soluble en agua	1,6
Trióxido de azufre (SO₃) total	15
soluble en agua	12
Óxido de calcio (CaO) total	5
Boro (B) total	0,02
Hierro (Fe) total	-
Zinc (Zn) total	0,01

Fuente: <http://www.compo.es/com>

El lugar donde se aplicaron los tratamientos fue seleccionado por sus características orográficas, mismas que permiten el fácil acceso a las huertas por su pendiente poco pronunciada. El terreno fue de aproximadamente 2 ha y con

características similares de profundidad y tipo de suelo. La distribución de los tratamientos en la huerta fue de la siguiente manera:

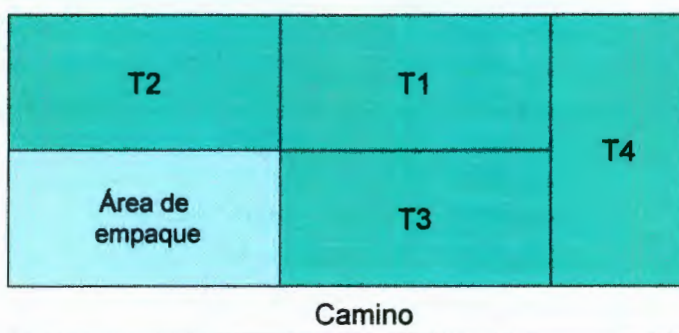


Figura 11. Distribución de los tratamientos en el huerto.

Cada tratamiento de fertilización se conformó de dos aplicaciones de los productos durante la temporada de producción, de acuerdo a como se explica en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Tratamientos de fertilización y fertilizantes aplicados

Tratamiento	Fertilizante aplicado	
	1a aplicación	2a aplicación
T1	Nitrofoska ®	Nitrofoska ®
T2	Sulfato de amonio Superfosfato de calcio simple	Nitrato de Ca al 45%
T3	Lombricomposta	Lombricomposta
T4	Triple 17	Nitrato de Ca al 45%

La primera fertilización se realizó en Septiembre de 2004 y la segunda en Enero de 2005; la cosecha se llevó a cabo en Mayo del 2005; de cada tratamiento se cosecharon 300 frutos los cuales fueron preenfriados y manejados de la forma descrita en el apartado anterior. Posteriormente, se transportaron al laboratorio donde se almacenaron a 10 °C.

A los 0, 5, 10 y 15 días de almacenamiento en refrigeración se tomaron muestras de 30 frutos de cada tratamiento para analizar su color, textura, acidez titulable y contenido de azúcares totales. Adicionalmente y en los periodos de 10 y

15 días de almacenamiento a 10°C, se transfirieron muestras a 21°C durante tres días en los que fueron evaluadas las mismas variables señaladas anteriormente.

La tasa de respiración y producción de etileno se determinó a los 0, 4, 6, 10 y 13 días de almacenamiento en refrigeración así como la transferencia a 21 °C durante tres días después de 13 días a 10 °C, en tres frutos independientes, sin reemplazo y por tratamiento (15 frutos en total).

4.4. Métodos de análisis de las variables de respuesta

4.4.1. Color

La medición de color se realizó en la superficie del fruto, seleccionándose un sitio específico localizado en el eje ecuatorial, el cual fue expuesto a una fuente de iluminación de un espectrofotómetro Minolta C2002 (Minolta Camera Co. LTD).

El espectrofotómetro analizó la luz reflejada por la superficie del fruto e indicó los valores de color en el sistema internacional CIELAB, para ello se eligió el iluminante C y observador a 10 grados. Con este instrumento se obtuvieron los valores de luminosidad (L^*), el valor a^* que mide las variaciones del color verde al rojo, el valor b^* que mide los colores azul a amarillo, el valor de ángulo de matiz o hue (h) definido por el arco tangente de b/a , y la diferencia de color (ΔE^*) definida como cambio de color de una muestra respecto a otra a partir de la siguiente ecuación:

$$\Delta E^* = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$$

Donde:

$$\Delta L^* = L^* - L^*_t$$

$$\Delta a^* = a^* - a^*_t$$

$$\Delta b^* = b^* - b^*_t$$

En estas ecuaciones, obtenidas del manual espectrofotómetro Minolta CM-2002 donde, L^*_t , a^*_t y b^*_t son las variables de color al inicio del experimento y L^* , a^* y b^* corresponden a los valores después de un tiempo determinado.

4.4.2. Textura o resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración fue medida con un analizador de textura TA-HD Textura Technologies Corp. New York, utilizando una sonda de acero inoxidable de 5 mm de diámetro la cual penetró 8 mm de profundidad a una velocidad de carga de 1 mm s^{-1} . El fruto se colocó sobre una placa de aluminio con su eje central orientado en forma transversal al eje de carga del texturómetro y de forma que el centro de la sonda tuviera su primer contacto con la muestra en la altura máxima del fruto desde la base de aluminio y desde ahí iniciar la compresión y penetración del fruto. Los resultados fueron reportados como la fuerza necesaria para penetrar la superficie del fruto, expresada en Newtons (N).

4.4.3. Tasa de respiración

La velocidad de respiración de los frutos se midió mediante la cuantificación de CO_2 producido usando el sistema cerrado (Kays, 1991). Los frutos procedentes del ambiente de refrigeración, se transfirieron a temperatura ambiente durante una hora previa a la aplicación del proceso de medición. Esta variable fue cuantificada a través del método estático; frutos individuales de guayaba se pesaron y se colocaron en frascos de volumen conocido, después estos se cerraron herméticamente con una tapa acondicionada con una manguera de hule látex por la que fue posible tomar muestras de aire del espacio de cabeza de cada uno de los recipientes. Las frutas en esta condición se mantuvieron durante media hora, al término de este tiempo se tomó una muestra de un mililitro de aire del espacio de cabeza el cual se inyectó a un cromatógrafo de gases marca Perkin Elmer AutoSystem.

La cuantificación se realizó mediante el método de estándar externo, usando un estándar certificado de CO_2 , con el que se calculó la concentración de

este gas en el aire del espacio de cabeza; con este dato, el volumen del recipiente, el peso del fruto y el tiempo en que el fruto se mantuvo dentro del recipiente se calculó la velocidad de producción de CO₂ mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Tasa de respiración} = \frac{(\Delta \% \times 10) (\text{Espacio libre del contenedor en L})}{(\text{Masa en Kg}) \left[\text{Tiempo que permanece encerrada la muestra en horas} \right]}$$

Dónde $\Delta\%$ es la diferencia de concentración de CO₂ en el aire del espacio de cabeza después del tiempo en que estuvo el fruto dentro del recipiente menos la concentración al inicio de dicho periodo o del aire fresco. Las unidades de la velocidad de respiración fueron mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (Kays, 1991).

4.4.4. Producción de etileno

Esta variable, fue cuantificada de manera simultánea a la medición de la producción de CO₂ y la misma muestra de gas del espacio de cabeza fue también analizada en el mismo cromatógrafo de gases. La cuantificación del contenido de etileno en el aire del espacio de cabeza, se realizó empleando un estándar externo. Para este caso se usó el estándar certificado de etileno a 10.4 ppm de etileno balance nitrógeno que fue inyectado en forma separada a las muestras. Los gases que fueron analizados en el detector de ionización de flama procedían de la salida del detector de conductividad térmica el cual no destruye los gases que entran en el mismo. La cuantificación se logró mediante la concentración de etileno determinada en el espacio de cabeza con el estándar externo y con este dato se calculó la velocidad de producción de etileno que se expresó como μg de etileno kg⁻¹ h⁻¹, la siguiente expresión indica el procedimiento de cálculo de esta variable:

$$\text{Producción de etileno} = \frac{(\Delta \% \times 10) (\text{Espacio libre del contenedor en L})}{(\text{Masa en Kg}) \left[\text{Tiempo que permanece encerrada la muestra en horas} \right]}$$

Dónde $\Delta\%$ es la diferencia de concentración de etileno que existe en el espacio de cabeza del recipiente que contenía a cada fruto al final del tiempo de muestreo, respecto de la concentración al inicio de dicho periodo.

4.4.4.1. Condiciones de operación del cromatógrafo.

El instrumento empleado para la determinación de la tasa de respiración y producción de etileno fue el cromatógrafo de gases marca Perkin Elmer AutoSystem, el cual está equipado con dos columnas, una Poraplot y la otra Monsieve 5A y dos detectores, un Detector de Conductividad Térmica (TCD) y un Detector de Ionización de Flama (FID) para la determinación simultánea de CO_2 y Etileno respectivamente. El gas acarreador fue He usado a una presión de 9 psig, el H_2 y Aire extraseco se usaran para la combustión del gas usado para el FID.

La temperatura de inyección fue de 70°C , la de operación del horno fue de 80°C y la del detector de 180°C . La forma en que operó la válvula fue la siguiente: La muestra se inyecta en la válvula cuando esta se encuentra en la posición 1 (Figura 12), en ese momento se satura el "loop" muestral. Cuando la válvula cambia a la posición 2, la muestra contenida en el loop es acarreada por el gas hacia las columnas y los detectores en la siguiente secuencia:

Gas acarreador \Rightarrow Loop \Rightarrow Columna 1 \Rightarrow Columna 2 \Rightarrow Detector

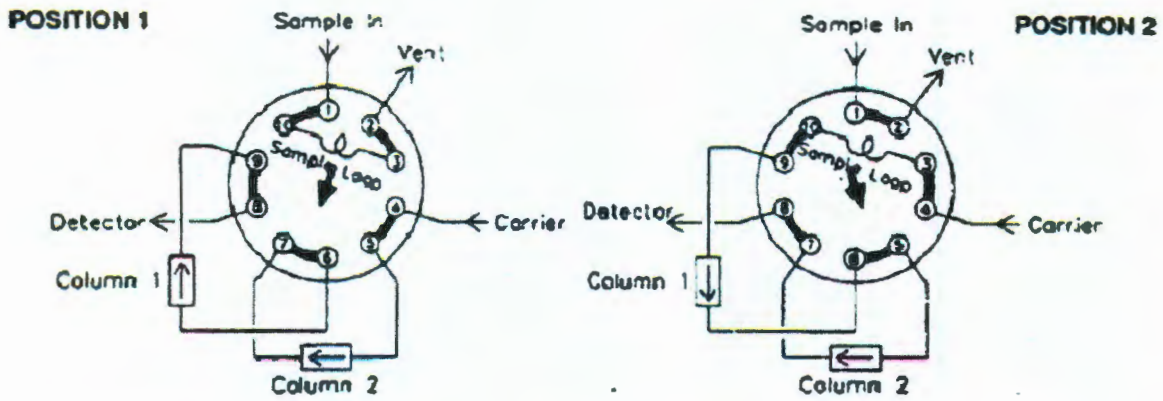


Figura 12. Secuencia de apertura y cierre de la válvula del cromatógrafo de gases marca Perkin Elmer AutoSystem.

4.4.5. Acidez total titulable

Para esta variable se empleó el método 935.57 de la AOAC, (1990). Diez gramos de pulpa fueron homogenizados con 100 mL de agua destilada neutra, se tomó una alícuota de 10 mL, a la cual se le agregaron 2 gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH 0.1 N hasta el vire del indicador, el contenido de acidez se reportó como % de ácido cítrico. El cálculo realizado fue el siguiente:

$$\% \text{ de acidez} = \frac{N(\text{NaOH}) \times \text{Vol NaOH} \times \text{Eq. ácido}}{\text{Vol X Muestra}} \times 100 \times \text{FD}$$

4.4.6. Azúcares totales

Se empleó el método colorimétrico, descrito por Dubois *et al* (1965); el cual se basa en que los azúcares tanto reductores como no reductores, al ser deshidratados por la presencia de ácido sulfúrico concentrado en el medio de reacción dan derivados de furfural, los cuales se condensan con el fenol para obtener complejos coloridos amarillo-naranja que absorben a 490 nm y cuyo desarrollo es directamente proporcional a la concentración de los azúcares.

El procedimiento seguido fue el siguiente: a 1 g de muestra de los frutos, se adicionó 5.5 mL de etanol al 100%; se homogeneizó en un Ultra Turrax (modelo T25) y se almacenó a -20°C durante 12 h. Después se filtró al vacío con un papel

filtro Wathman No 1. Se tomaron 250 μL del filtrado y se aforaron a 25 mL con agua destilada; de esta dilución se tomaron 100 μL de muestra y se les adicionó 400 μL agua, 500 μL fenol al 5% y 2.5 mL de ácido sulfúrico concentrado.

Después de 20 minutos a 20 °C se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lamda 44. Para el cálculo del contenido de azúcar en las muestras, se construyó una curva de calibración con una solución estándar de glucosa de 0.3 mg mL⁻¹. A partir de esta dilución se prepararon tubos que contenían 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 y 500 μL de la solución estándar y se llevaron a un volumen de 500 μL con agua destilada y se prepararon como se indica en el Cuadro 10:

Cuadro 10. Preparación de los tubos para la elaboración de la curva de calibración de azúcares

NO. DE TUBO	SOLUCIÓN ESTANDAR μL	AGUA μL	GLUCOSA EN LA SOLUCIÓN mg	ÁCIDO SULFÚRICO CONCENTRADO mL	FENOL AL 5% μL
Blanco	0	500	0.000	2.5	500
1	50	450	0.010	2.5	500
2	100	400	0.020	2.5	500
3	150	350	0.030	2.5	500
4	200	300	0.040	2.5	500
5	250	250	0.050	2.5	500
6	300	200	0.060	2.5	500
7	350	150	0.070	2.5	500
8	400	100	0.080	2.5	500
9	450	50	0.090	2.5	500
10	500	0	0.100	2.5	500

Cada tubo fue preparado como se indicó en el párrafo anterior. Con los resultados se obtuvo la curva de calibración (apéndice 1) con la cual fue posible calcular la concentración en las muestras.

4.4.7. Actividad de poligalacturonasa (PG) en frutos de guayaba

Para evaluar los efectos del 1-MCP sobre el proceso de ablandamiento de los frutos, se cuantificó la actividad de la enzima PG en extractos crudos de la enzima procedentes de frutos de guayaba. Los frutos de guayaba tratados con

1-MCP (0.6 ppm, 6h) y almacenados a 10°C, durante 24 días. Cada 6 días se determinó la actividad de la enzima a través del método indicado por Karakurt, y Huber (2003), el cual consistió de los siguientes pasos:

4.4.7.1. Obtención del extracto crudo de la enzima.

A diez gramos de tejido se les adicionó 20 mL de una mezcla fría de etanol-agua (10%), se homogeneizó en un Ultra Turrax (modelo T25) por 3 minutos y se centrifugó a 11,000 RPM durante 22 minutos. El sobrenadante fue descartado y al pellet sedimentado se le agregó 12.5 mL de una mezcla fría de etanol-agua al 80%, se homogeneizó con un vortex y nuevamente se centrifugó a 11,000 RPM durante 22 minutos, nuevamente se descartó el sobrenadante y al sedimento se le agregaron 10 mL de solución buffer de acetato de sodio (acetato de sodio 25Mm, cloruro de sodio 1.2M, a pH 5.0), se homogeneizó en un vortex y luego se centrifugó por última vez a 11,000 RPM durante 22 minutos. El sobrenadante fue filtrado (Watman No. 1) guardado a -70°C para su posterior ensayo de actividad. A este extracto enzimático se le denominó Extracto Libre de Células (ELC).

4.4.7.2. Determinación espectrofotométrica.

A 0.2 mL del ELC se le adicionaron 0.5 mL de la solución de ácido poligalacturónico (acetato de sodio 50 mM, ácido poligalacturónico 2 mg/mL) y se incubó a 34 °C durante 1 hora. Posteriormente se adicionó 0.8 mL de la solución de cobre (Na_2SO_4 1.97 M, NaCl 0.68 M, acetato de sodio 0.2 M, CuSO_4 20.8 mM, pH ajustado a 4.8) para después calentar hasta ebullición durante 20 minutos. Se enfrió en hielo y se agregó 0.5 mL de la solución de arseno-molibdeno ($\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 19.2 mM, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 40.5 mM, H_2SO_4 788 mM). De la solución resultante se tomó una alícuota de 0.2 mL y se aforó a 2 mL, para posteriormente realizar la lectura de absorbancia a 710 nm. La actividad fue medida reductométricamente (Milner y Avigaid, 1967) y expresada como mol de ácido galacturónico $\text{Kg de proteína}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

4.4.7.3. Corrección por contenido de proteína.

Debido a que la cantidad de enzima está directamente relacionada con la concentración de proteína, fue necesario cuantificar esta última con el fin de reportar la cantidad de enzima en las unidades citadas en el párrafo anterior. Se elaboró una solución de 0.01 mg/mL BSA (seroalbumina bobina disuelta en NaCl 0.15 M) de la cual se obtuvieron diferentes diluciones (de 1 µg/mL a 10 µg/mL) para elaborar la curva de calibración a partir de las lecturas de absorbancia a 595 nm.

Para determinar la cantidad de proteína en la muestra se agregaron 0.5 mL del reactivo de Bradford (Bradford, 1976) a 0.1 mL de muestra, se homogeneizó y se obtuvo la lectura en el espectrofotómetro, la cual se extrapoló en la curva de calibración para obtener la concentración de proteína en la muestra.

4.4.8. Análisis sensorial

En este experimento se utilizó la mejor concentración y tiempo de exposición de 1-MCP determinadas en el experimento 1. El manejo y preparación de los frutos se realizaron de la misma forma que en el experimento antes descrito.

Después del tratamiento con 1-MCP los frutos fueron colocados en una cámara a 10°C durante 24 días y posteriormente transferidos a 21°C durante 3 días.

El análisis sensorial se llevó a cabo empleando un grupo conformado por 10 panelistas semi entrenados a los que se les presentó un fruto de los tratamientos a evaluar y otro fruto control sobre los cuales cada juez debía calificar el color desarrollado, aroma, firmeza al tacto, dulzor y acidez. Las calificaciones de los jueces fueron registradas, con diferentes marcas para cada fruto, sobre una escala no estructurada en la que los extremos de la misma estaban delimitados por los juicios extremos de ausencia del atributo o una presencia alta del mismo como se anota en la Figura 13.

ANÁLISIS SENSORIAL DE GUAYABA

Nombre: _____

Fecha: _____

Pruebe la muestra A4 Y B4 (enjuáguese la boca antes de probar cada muestra). Marque con una X el nivel de estímulo que corresponda a la muestra A4 y con / al que corresponda a la muestra B4.

Aroma característico (sin abrir el fruto)

Sin aroma	Extremadamente aromática
-----------	--------------------------

Color externo

Verde	Amarillo
-------	----------

Textura (al tacto)

Extremadamente dura	Extremadamente blanda
---------------------	-----------------------

Dulzura

Nada dulce	Extremadamente dulce
------------	----------------------

Acidez

Nada ácida	Extremadamente ácida
------------	----------------------

Observaciones: _____

Figura 13. Hoja de evaluación sensorial aplicada a frutos de guayaba.

El centro de la escala correspondió a un juicio por parte del panelista que definía ni gusto ni disgusto de la variable indicada. Entre esos puntos el juez

anotaba su calificación marcando en la escala la intensidad percibida. La serie de calificaciones anotadas por los jueces fueron posteriormente estructuradas individualmente; para ello se colocó una regla milimétrica y los juicios de cada variable fueron registrados como valores numéricos los cuales se emplearon en el análisis estadístico.

Los frutos control se encontraban en estado de madurez comercial al momento de ser probados. Este procedimiento se consideró el más adecuado puesto que permitió determinar los niveles de un atributo respecto a una referencia, de tal forma que la intensidad del estímulo estuvo definida por dicha referencia. La diferencia entre ambas marcas fue el valor que se analizó en los resultados.

En un segundo tratamiento se aplicó la concentración óptima y 7 horas de exposición al compuesto. Los frutos fueron almacenados durante 24 días a 10°C y después de ser transferidos a 21°C por tres días se tomaron las muestras para medir textura y cambio de color. Los frutos se compararon con un control.

4.5. Diseño del experimento y análisis estadísticos

4.5.1. Efecto del tratamiento con 1-MCP

El diseño estadístico para este experimento correspondió a un factorial completo al azar 3^2 con dos factores a tres niveles cada uno. El factor concentración de 1-MCP fue aplicado a tres niveles 0.6, 0.9 y 1.2 ppm; mientras que el factor tiempo de exposición, fue ensayado a 1, 3 y 5 horas. La unidad experimental fue un fruto y se realizaron tres repeticiones para las variables de tasa de respiración y producción de etileno. Para las otras variables se realizaron 6 repeticiones, en ambos casos se empleó un testigo. Las mediciones se hicieron cada 4 días durante un mes. Los resultados fueron analizados estadísticamente (ANOVA), utilizando el software estadístico JMP versión 4.0.4. Asimismo, se realizó comparación de medias por el método de Tukey, con un $\alpha=0.05$.

Para evaluar sensorialmente los frutos se empleó un diseño completamente al azar. La unidad experimental fue un fruto y se realizaron 6 repeticiones. Los

resultados fueron analizados estadísticamente mediante análisis de varianza utilizando el programa estadístico JMP versión 4.0.4, y la separación de medias se realizó por la prueba de Tukey, con un $\alpha=0.05$.

4.5.2. Efecto de la fertilización en la calidad del fruto

El diseño estadístico para este experimento correspondió a un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos con mediciones repetidas en el tiempo a los 0, 5, 10 y 15 días para los frutos almacenados a 10°C de forma continua y 10 +3 y 15 + 3 para las transferencias de 10 a 20°C. La tasa de respiración y producción de etileno se determinó a los 0, 4, 6, 10 y 13 días de almacenamiento en refrigeración así como la transferencia a 21 °C durante tres días después de 13 días a 10 °C, en tres frutos independientes, sin reemplazo y por tratamiento (15 frutos en total) Los tratamientos fueron los mostrados en el Cuadro 11:

Cuadro 11. Tratamientos realizados con diferente tipo de fertilización en árboles de guayaba

Tratamiento	Fertilizante aplicado	
	1a aplicación	2a aplicación
T1	Nitrofoska ®	Nitrofoska ®
T2	Sulfato de amonio Superfosfato de calcio simple	Nitrato de Ca al 45%
T3	Lombricomposta	Lombricomposta
T4	Triple 17	Nitrato de Ca al 45%

La unidad experimental fue un fruto. Para las variables de color, textura acidez titulable y azúcares totales se realizaron 30 repeticiones. La toma de datos se realizó con tres repeticiones para la tasa de respiración y producción de etileno. Las observaciones fueron realizadas cada cuatro días, durante un periodo de 18 días. Los resultados fueron analizados estadísticamente con un análisis de varianza utilizando el software estadístico JMP Ver. 4.0.4, y para los tratamientos con diferencias significativas, se hicieron comparación de medias utilizando el estadístico de Tukey, con un $\alpha=0.05$.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Efecto del tratamiento con 1-MCP

5.1.1. Aspecto visual de la aplicación de 1-MCP durante el almacenamiento

El efecto de la exposición de frutos de guayaba a 1-MCP fue caracterizado por el retardo en la pérdida de firmeza y cambio de color, como se analizará más adelante. Las Figuras 14, 15 y 16 muestran el efecto que tuvo la aplicación del 1-MCP en los frutos; la Figura 14 muestra el aspecto inicial antes de iniciar el tratamiento; en la Figura 15 se muestran los frutos tratados con 0.6 ppm de 1-MCP y control después de 25 días de almacenamiento a 10°C; se observa que mientras los frutos control presentaban incidencia de pudriciones y una menor textura, los frutos tratados con el compuesto mantenían una mejor apariencia



Figura 14. Aspecto de los frutos antes de iniciar los tratamientos.

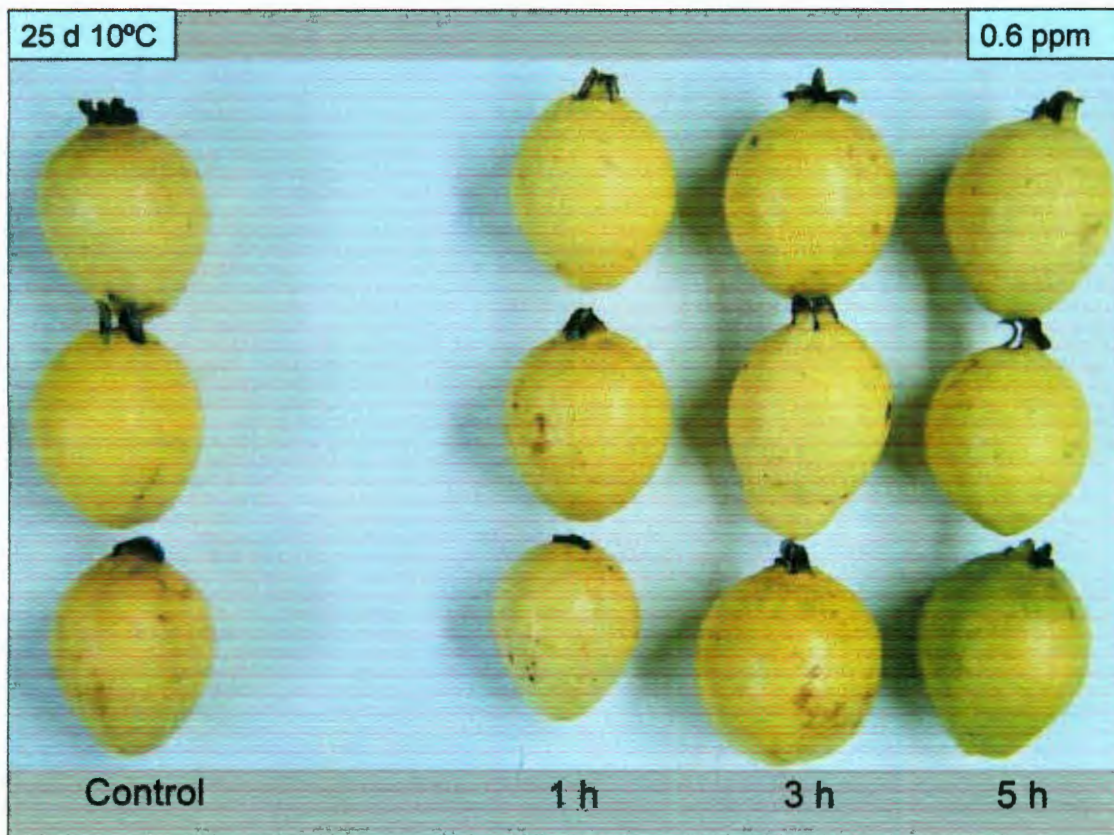


Figura 15. Efecto en el cambio de color de frutos control y tratados con 1-MCP (0.6 ppm) después de 25 días de almacenamiento a 10°C.

En esta misma figura, se observa que los frutos tratados por 5 horas con el compuesto, mostraron un mayor retraso en su proceso de maduración aunque los que tuvieron menores tiempos de exposición mostraron mejor aspecto que los frutos control.

Cuando los frutos control y tratados fueron transferidos a temperatura ambiente, los frutos control sufrieron un deterioro generalizado. La Figura 16 muestra los frutos tratados 0.6 ppm de 1-MCP por 5 horas mantenían un mejor aspecto con un adecuado cambio de color mientras que aquellos tratados por menores tiempos mostraron signos de deterioro.



Figura 16. Efecto en el cambio de color de frutos tratados con 1-MCP (0.6 ppm) después de 25 días de almacenamiento a 10°C mas 3 días a temperatura ambiente.

Las anteriores figuras demuestran que la aplicación de 0.6 ppm de 1-MCP por un tiempo de exposición de 5 horas; permite alargar la vida de anaquel de los frutos de guayaba hasta por 25 días a 10°C mas tres días a temperatura ambiente.

5.1.2. Efecto sobre la fisiología del fruto

5.1.2.1. Tasa de respiración

En las Figuras 17 y 18 así como en los Cuadros 12 y 13, se puede observar los resultados obtenidos en la tasa de respiración al exponer los frutos de guayaba a diferentes concentraciones y tiempos de exposición de 1-MCP.

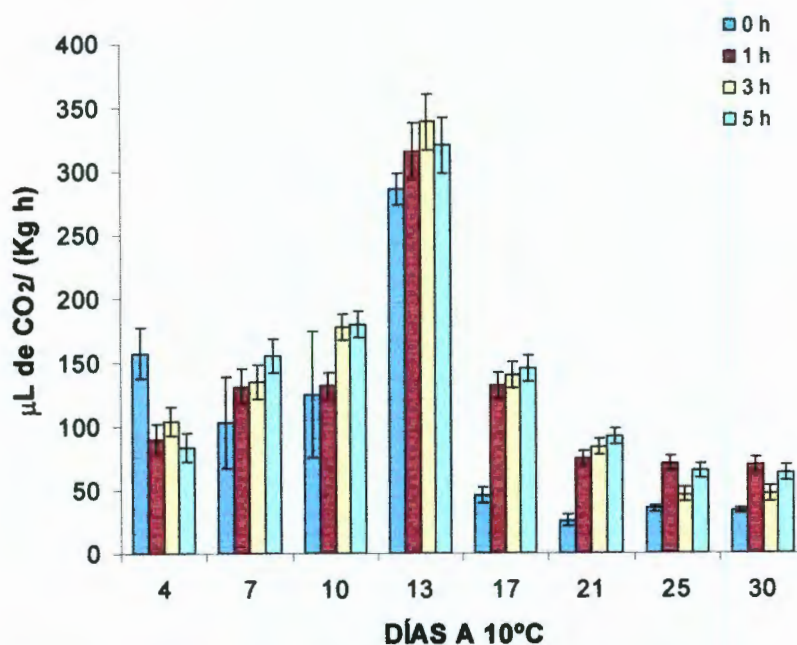


Figura 17. Efecto del tiempo de exposición a 1-MCP sobre la producción de CO₂ en frutos de guayaba.

La figuras muestran que los frutos tratados con 1-MCP incrementaron la tasa de respiración en todos los niveles probados, con excepción del día 4, fecha en la que los frutos testigo presentaron mayor tasa de respiración ($>150 \mu\text{L de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) tanto para el factor tiempo de exposición como para el factor concentración de 1-MCP, en comparación con los tratamientos realizados con el gas, los cuales produjeron alrededor de $100 \mu\text{L de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, sin existir diferencia estadística entre niveles de los factores. Así mismo, el nivel de 0.6 ppm del factor concentración mostró una diferencia estadística significativa, con los

valores mas bajos (14.2 y 13.1 $\mu\text{L de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) al final del periodo de almacenamiento (día 25 y 30, respectivamente).

Cuadro 12. Efecto de la concentración de 1-MCP sobre la producción de CO_2 ($\mu\text{L de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) en frutos de guayaba

Factor [1-MCP]	Días de almacenamiento a 10 °C							
	4	7	10	13	17	21	25	30
0 ppm	157,4 ^a	103,3 ^b	125,0 ^c	285,8 ^a	45,8 ^c	25,9 ^c	35,6 ^b	33,8 ^{bc}
0,6 ppm	105,1 ^b	141,9 ^{ab}	82,3 ^d	329,2 ^a	71,6 ^c	25,1 ^c	14,2 ^c	13,1 ^c
0,9 ppm	89,1 ^b	121,8 ^{ab}	176,8 ^b	311,8 ^a	147,9 ^b	82,1 ^b	40,4 ^b	37,9 ^b
1,2 ppm	83,6 ^b	157,3 ^a	229,0 ^a	333,4 ^a	196,1 ^a	142,9 ^a	127,3 ^a	128,1 ^a
DMS	31.8	42.1	32.4	51.2	35.6	41.2	19.9	20.1
Prob >F	0.042	0.030	0.037	0.043	0.008	0.009 ^u	0.045	0.027

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

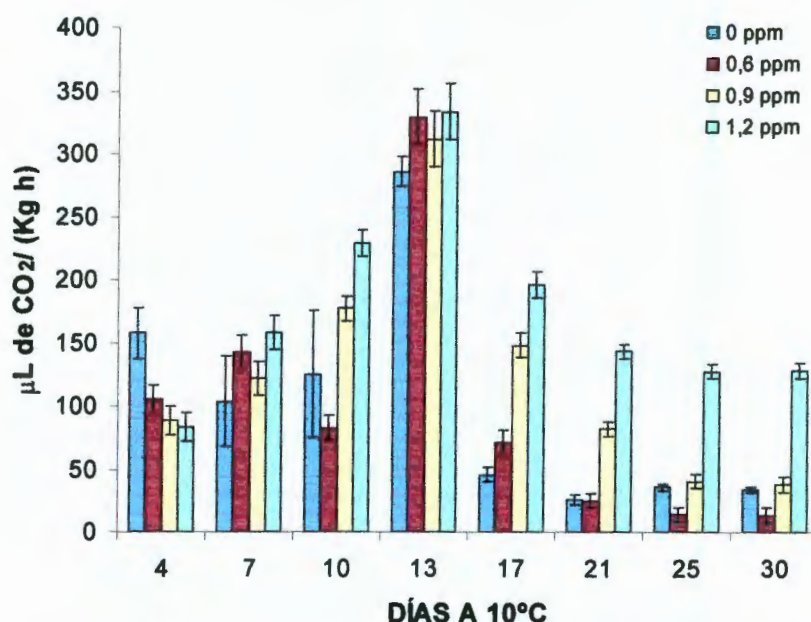


Figura 18. Efecto de la concentración de 1-MCP sobre la producción de CO_2 en frutos de guayaba.

Estos resultados contrastan con la mayoría de las investigaciones llevadas a cabo con este gas. En trabajos realizados en diferentes productos hortofrutícolas se ha encontrado que la tasa de respiración disminuye al exponer los frutos a la acción del 1-MCP, tal es el caso de los estudios hechos en frutos climatéricos como la manzana (Argenta *et al.*, 2001; Li *et al.*, 2003), mango (Lalel

et al., 2003; Hofman *et al.*, 2001), aguacate (Daunet *et al.*, 2003; Feng *et al.*, 2000) y durazno (Fan *et al.*, 2002; Kluge y Jacomino, 2002) entre otros. Del mismo modo se han realizado experimentos con frutos no climatéricos obteniendo en su mayoría resultados similares.

Cuadro 13. Efecto del tiempo de exposición a 1-MCP sobre la producción de CO₂ (μL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) en frutos de guayaba

Factor t de exposición	Días de almacenamiento a 10 °C							
	4	7	10	13	17	21	25	30
0 horas	157,4 ^a	103,3 ^b	125,0 ^b	285,8 ^a	45,8 ^b	25,9 ^b	35,6 ^c	33,8 ^b
1 hora	90,3 ^b	131,1 ^{ab}	131,4 ^b	315,6 ^a	131,5 ^a	74,4 ^a	70,8 ^a	69,0 ^a
3 horas	103,9 ^b	134,8 ^{ab}	177,4 ^a	338,5 ^a	139,7 ^a	83,7 ^a	46,3 ^{bc}	46,7 ^{ab}
5 horas	83,7 ^b	155,3 ^a	179,3 ^a	320,2 ^a	144,4 ^a	92,0 ^a	64,8 ^{ab}	63,5 ^a
DMS	42.8	32.6	25.5	54.7	23.1	36.4	18.5	23.4
Prob >F	0.024	0.027	0.031	0.036	0.026	0.018	0.045	0.039

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey p<0.05).

Sólo algunos autores han reportado el aumento en la tasa de respiración, tal es el caso de Bower *et al.* (2003), quien trabajo con fresas. Este autor encontró valores de 0.51 y 0.52 mmol kg⁻¹ h⁻¹ en los frutos tratados con 1 μL L⁻¹ de 1-MCP, en comparación con los 0.43 y 0.42 mmol kg⁻¹ h⁻¹ producidos por los frutos testigo, ambos muestreados a los 3 y 4 días de almacenamiento a 5 °C, respectivamente. Al día 7 la tasa de respiración para los frutos testigo y tratados con 1-MCP fue de 0.61 y 0.72 mmol kg⁻¹ h⁻¹, respectivamente. Por otra parte, Salvador (2004) en estudios realizados con persimonia encontró que durante el almacenamiento a 15 °C, la tasa de respiración de frutos tratados con 0.5 μL L⁻¹ de 1-MCP fue de 8.41 y 7.36 mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a los 15 y 30 días respectivamente, valores altos en comparación con los obtenidos de los frutos control, los cuales fueron de 8.13 y 6.83 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ en los mismos días, además, encontró un comportamiento similar al mantener durante 8 días los mismos frutos a temperatura ambiente.

Pese a que los resultados obtenidos por los autores mencionados en el párrafo anterior fueron experimentos realizados con frutos que difieren por mucho a la guayaba, nos sirven como referencia para saber que es posible obtener valores altos en la tasa de respiración de frutos tratados con 1-MCP, en

comparación con frutos que no fueron expuestos al gas. En lo referente a guayaba, a la fecha sólo se ha reportado algunos estudios realizados en Brazil, como es el caso de Jacobino *et al.* (2002), Kluge y Jacomino (2000) y Bassetto (2002). Este último autor, en uno de sus experimentos realizó tratamientos con diferentes concentraciones de 1-MCP (100, 300 y 900 nL L⁻¹), encontrando que al día 5 la tasa de respiración de todos los tratamientos (48, 46 y 27.5 mg de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ aprox., respectivamente) fue menor que la de los frutos testigo (84 mg de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ aproximadamente). Cabe aclarar que la variedad de guayaba que se produce en Brazil tiene características fisiológicas y morfológicas muy diferentes a las de la variedad empleada para este estudio, por lo que no pueden esperarse resultados similares. Además recordemos que el fruto de guayaba se ha caracterizado por presentar un comportamiento atípico a la mayoría de los frutos climatéricos estudiados en nuestro país.

5.1.2.2. Producción de etileno

Un efecto interesante se observó en lo referente a la producción de etileno en los frutos tratados con 1-MCP. En la Figura 19, así como en los Cuadros 14 y 15 se puede observar la comparación de medias para cada factor analizado.

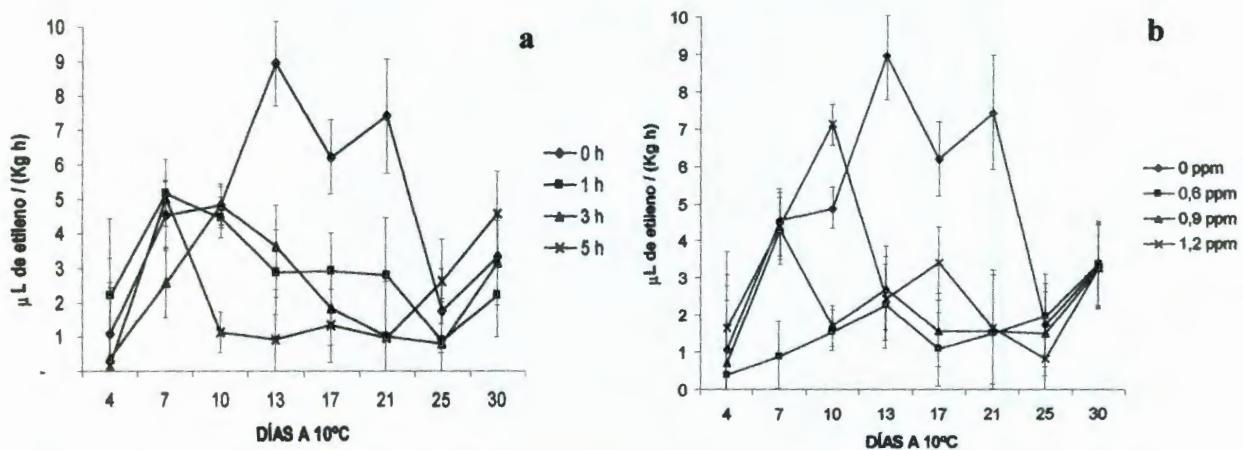


Figura 19. Efecto del tiempo de exposición (a) y concentración (b) de 1-MCP en la producción de etileno de guayaba.

En estos cuadros se aprecia claramente que, a excepción de algunos resultados atípicos en el día 7, la producción de etileno fue mucho menor en los frutos tratados con el gas en comparación con los frutos control, y especialmente con el nivel de 5 horas del factor tiempo de exposición.

Estas observaciones son congruentes si recordamos que al bloquear los sitios de unión del etileno se inhibe también su síntesis. Otra observación de interés es que los frutos no muestran el comportamiento climatérico típico de su especie.

Argenta *et al.* (2003), Kluge y Jacomino (2002), Harima *et al.* (2003) y Pelayo *et al.* (2003) son, por citar algunos, autores que trabajaron con diversos frutos (pera, durazno, persimonia, y plátano), encontrando una clara disminución de la producción de etileno en los frutos tratados con 1-MCP. Esta disminución es debida sin lugar a duda al bloqueo de los sitios de unión del etileno ejercido por el gas 1-MCP.

Cuadro 14. Efecto sobre la producción de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP

Factor [1-MCP]	Días de almacenamiento a 10 °C							
	4	7	10	13	17	21	25	30
0 ppm	1,1	4,6	4,9	9,0	6,2	7,4	1,8	3,3
0,6 ppm	0,4	0,9	1,5	2,3	1,1	1,5	2,0	3,4
0,9 ppm	0,7	4,3	1,7	2,7	1,6	1,6	1,5	3,3
1,2 ppm	1,7	17,6	7,1	2,4	3,4	1,6	0,8	3,3
DMS	4.3	16.7	4.5	6.9	6.2	6.5	2.6	1.6
Prob >F	0.136	0.054	0.121	0.061	0.146	0.107	0.083	0.074

Cuadro 15. Efecto sobre la producción de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) en frutos tratados con diferentes tiempos de exposición a 1-MCP.

Factor t de exposición	Días de almacenamiento a 10 °C							
	4	7	10	13	17	21	25	30
0 horas	1,1	4,6	4,9	9,0	6,2	7,4	1,8	3,3
1 hora	2,2	5,2	4,4	2,9	2,9	2,8	0,9	2,2
3 horas	0,4	12,6	4,9	3,6	1,8	1,0	0,8	3,2
5 horas	0,2	5,1	1,1	0,9	1,3	1,0	2,6	4,6
DMS	2.5	8.2	5.3	8.4	5.9	7.0	3.1	2.9
Prob >F	0.081	0.064	0.078	0.069	0.089	0.064	0.086	0.076

5.1.2.3. Cantidad de Poligalacturonasa (PG) activa

Para cuantificar la actividad de la PG se realizó un ensayo en el cual se hizo reaccionar el extracto proteico de la guayaba con una cantidad conocida de ácido poligalacturónico. Los resultados se muestran en la Figura 20.

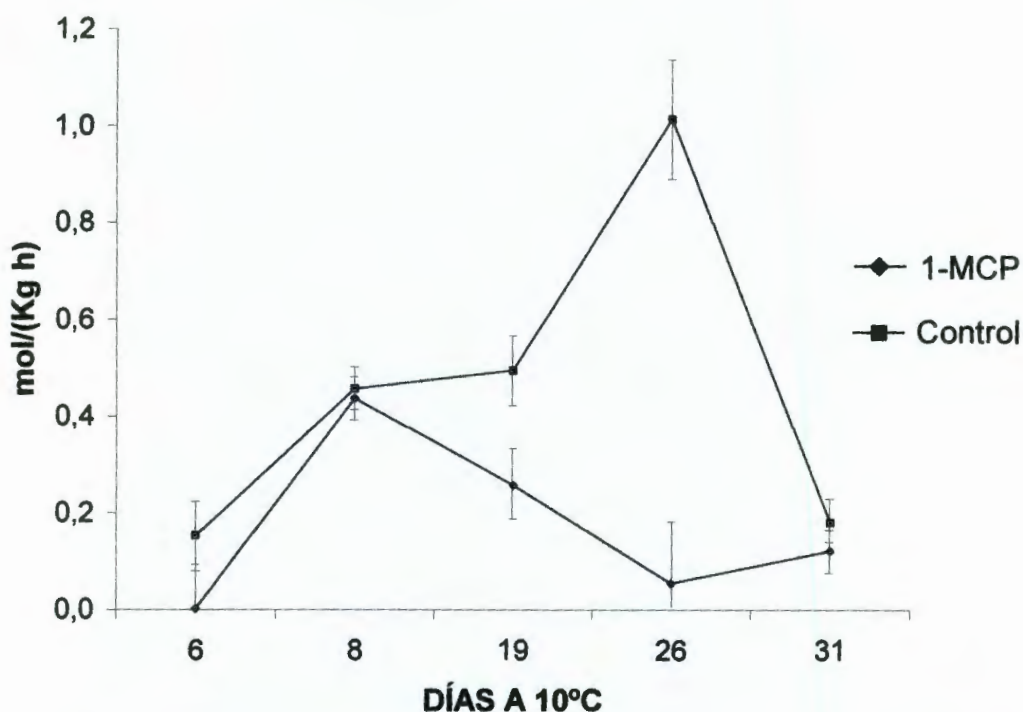


Figura 20. Cuantificación de actividad de poligalacturonasa en extracto de guayaba.

En la Figura 20 se observa gráficamente como la actividad de la enzima estudiada es mucho menor en los frutos tratados con 1-MCP (0.6 ppm, durante 6h) en comparación con los control, principalmente al día 25, en donde la diferencia es mayor al 80 %. Esto debido precisamente a que fue inhibida la acción del etileno con el gas 1-MCP, inhibiendo también la síntesis de diversas enzimas relacionadas con la maduración. Karakurt y Huber (2003) mencionan que los altos niveles en la actividad de poligalacturonasa representan una respuesta al

incremento en el nivel de etileno, por lo que en este caso tenemos una menor actividad de la enzima en los frutos tratados con 1-MCP.

Es interesante hacer notar el comportamiento de la enzima a través del tiempo, ya que los frutos no tratados incrementan su contenido de enzima paulatinamente hasta el día 26, para luego decaer al mínimo después de 31 días de almacenamiento, quizás debido al fenómeno de deterioro normal en el fruto causado por la senescencia. En contraste, los frutos tratados con 1-MCP presentan una actividad máxima al día 8 de almacenamiento, a partir del cual se presenta una aparente disminución de la actividad de la enzima, llegando a un mínimo al día 26 previo a un incremento hasta el día 30.

Del mismo modo en que la actividad de la enzima se ve afectada por la exposición de los frutos a 1-MCP, se puede deducir que una cantidad desconocida de compuestos sintetizados durante la maduración de los frutos son inhibidos. De este modo, las características fisicoquímicas y sensoriales de los frutos se modifican. La poligalacturonasa está asociada directamente con la degradación de sustancias pécticas localizadas en la pared celular de las especies vegetales. La degradación paulatina de estas sustancias es la que propicia la pérdida de firmeza en el fruto al verse afectada su estructura celular. Los resultados sugieren un retraso en la pérdida de firmeza de los frutos tratados con 1-MCP, lo cual fue corroborado con el análisis físico por medio del texturómetro.

5.1.3. Efecto sobre los factores físicos

5.1.3.1. Cambios de textura

La textura fue medida como la fuerza necesaria para penetrar el fruto a una distancia de 8 mm. En lo referente al efecto del 1-MCP sobre la textura del fruto de guayaba, se obtuvieron resultados relevantes al realizar el análisis del efecto de cada factor sobre esta variable. En la Figura 21 se muestra el efecto de la concentración de 1-MCP sobre la textura.

Este factor presentó diferencias estadísticamente significativas entre los frutos no tratados con 1-MCP en comparación con los tratados, y no existió

diferencia significativa entre estos últimos. Es importante hacer notar cómo cualquier concentración empleada destaca por mejorar la firmeza en los frutos de guayaba durante el tiempo de almacenamiento.

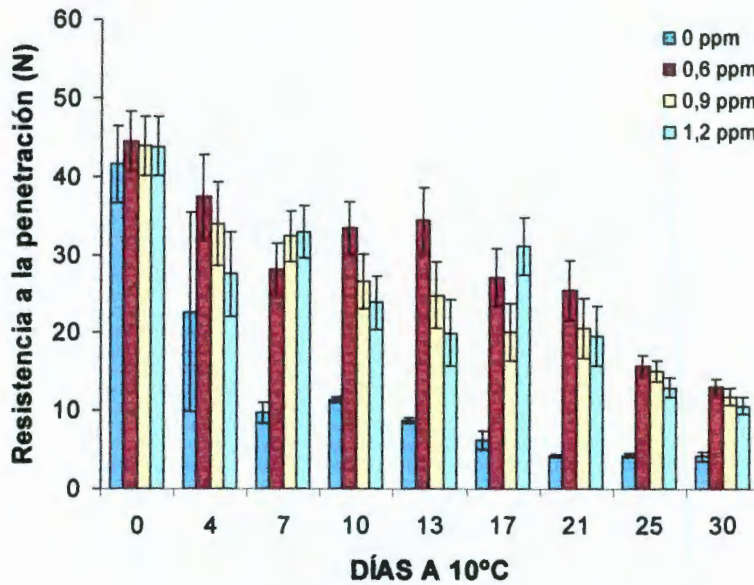


Figura 21. Efecto de la concentración de 1-MCP sobre la textura en frutos de guayaba.

Aún más marcado es el efecto del tiempo de exposición al 1-MCP, puesto que existieron diferencias significativas entre tratamientos a partir del día 7, en el que el nivel más alto de este factor (5 horas de exposición) es estadísticamente diferente, y es también el que confirió mayor textura a los frutos de guayaba, mostrando valores de 37.3, 31.6 y 20.7 N a los 21, 25 y 30 días respectivamente, mientras que los demás tratamientos mostraron una textura en promedio de 20.5, 17.0 y 11.0 N para los mismos días, valores más bajos en comparación con el nivel más alto de este factor, pero aún aceptables en comparación con los frutos control, cuya textura para esos mismos días fue de 6.1, 4.2 y 4.2 N en promedio, como lo muestra la Figura 22 y el análisis de medias en el Cuadro 16.

Era de esperarse que el tratamiento con 1-MCP retrasara los cambios en textura de los frutos de guayaba, puesto que al inhibir la acción del etileno al bloquear sus sitios de unión en esta ocasión con un compuesto análogo, también

se modula en forma negativa la síntesis de algunas enzimas como la Polimetilesterasa (PME) y la Poligalacturonasa (PG), responsables de la degradación de los compuestos estructurales de la pared celular, y por consiguiente, de la textura del fruto.

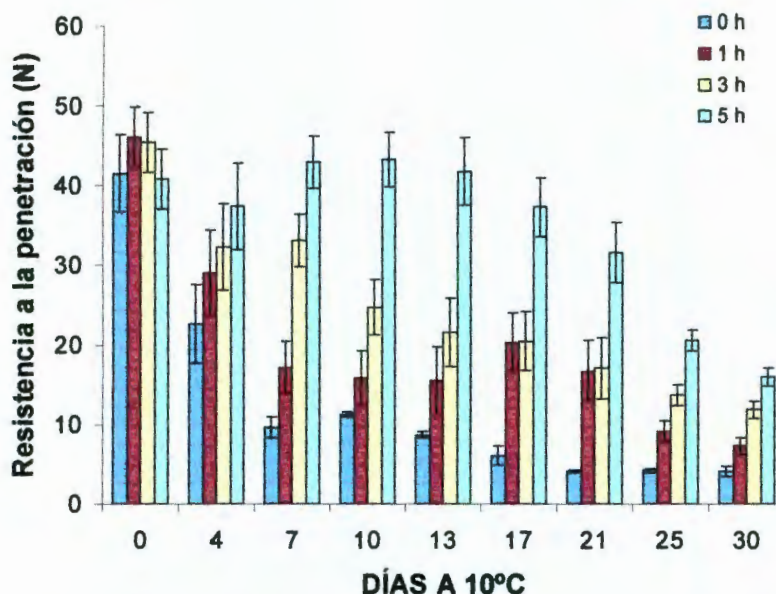


Figura 22. Efecto del tiempo de exposición a 1-MCP sobre la textura en frutos de guayaba.

Cuadro 16. Efecto del tiempo de exposición a 1-MCP sobre la textura (N) en frutos de guayaba

Factor t de exposición	Días de almacenamiento a 10 °C							
	4	7	10	13	17	21	25	30
0 horas	41,5 ^a	22,6 ^b	9,7 ^b	11,4 ^c	8,7 ^c	6,1 ^c	4,2 ^c	4,2 ^c
1 hora	46,0 ^a	29,1 ^b	17,2 ^{bc}	15,9 ^b	15,6 ^b	20,4 ^b	16,8 ^b	9,2 ^c
3 horas	45,4 ^a	32,3 ^a	33,2 ^b	24,7 ^b	21,7 ^b	20,5 ^b	17,2 ^b	13,8 ^b
5 horas	40,8 ^a	37,4 ^a	43,0 ^a	43,3 ^a	41,8 ^a	37,3 ^a	31,6 ^a	20,7 ^a
DMS	5.4	7.3	16.4	16.5	6.3	12.5	11.1	4.0
Prob >F	0.024	0.016	0.047	0.020	0.022	0.045	0.019	0.036

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

Resultados similares reportó Bassetto (2002) quién trabajó con guayaba (var 'Pedro Sato'), encontrando que se retrasaba la pérdida de firmeza de los frutos de 22.2 N (frutos control) a 42.9 en frutos tratados durante 12 horas con 0.9

ppm del gas. Las mediciones fueron tomadas cuando los frutos control alcanzaron la madurez comercial. En innumerables investigaciones se ha observado este mismo comportamiento en diversas especies frutales, tal es el caso de Dauny *et al* (2003), Leverentz *et al* (2003) y Botrel *et al* (2002), quienes trabajaron con aguacate, manzana y plátano respectivamente, por mencionar sólo algunos.

5.1.3.2. Cambios de color

En lo referente al parámetro de color, las variables analizadas fueron L*, a*, b*, h (índice de matiz) y ΔE^* . En la variable ΔE^* (cambio de color), así como la luminosidad (L*), no se encontraron diferencias de interés, el análisis de medias de estas dos variables se muestran en los Cuadros 17, 18, 19 y 20.

Cuadro 17. Lectura de la variable L* de color en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP

Factor [1-MCP]	Días de almacenamiento a 10 °C							
	4	7	10	13	17	21	25	30
0 ppm	69,7	73,0	74,3	72,9	73,0	72,9	70,9	68,5
0,6 ppm	66,6	68,3	69,7	70,8	70,6	71,6	70,2	69,8
0,9 ppm	67,1	68,7	68,6	70,0	70,1	70,6	69,2	70,7
1,2 ppm	69,7	70,2	70,7	71,2	71,5	70,9	70,9	70,3
DMS	3.8	4.9	6.4	3.7	3.9	2.8	2.5	2.6
Prob >F	0.143	0.064	0.077	0.112	0.095	0.144	0.55	0.079

Cuadro 18. Lectura de la variable L* de color en frutos tratados con diferentes tiempos de exposición a 1-MCP

Factor t de exposición	Días de almacenamiento a 10 °C							
	4	7	10	13	17	21	25	30
0 horas	69,7	73,0	74,3	72,9	73,0	72,9	70,9	68,5
1 hora	69,0	70,6	71,6	72,7	72,3	71,9	70,5	69,5
3 horas	67,7	69,2	69,7	70,5	70,5	71,0	70,2	70,7
5 horas	66,7	67,5	67,6	68,8	69,4	70,2	69,6	70,7
DMS	2.5	5.9	7.1	4.8	4.0	3.6	2.1	2.8
Prob >F	0.114	0.053	0.145	0.081	0.130	0.147	0.075	0.106

La variable b*, la cual nos indica el cambio de color de azul a amarillo, fue afectada en cierta medida por el factor tiempo de exposición (Cuadro 21.). El nivel

alto del factor tiempo de exposición (5 horas) fue el que retuvo por más tiempo el color en guayaba, aunque esta diferencia es menor a partir del día 17. El factor concentración de 1-MCP parece no afectar a la variable b^* , como lo muestra el Cuadro 22, sin embargo, se puede apreciar claramente que todos los tratamientos tienen valores más bajos que el correspondiente a los frutos control, lo que demuestra que retienen mejor el color en el fruto de guayaba.

Cuadro 19. Valores de la variable de color ΔE^* en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP

Factor [1-MCP]	Días de almacenamiento a 10 °C						
	7	10	13	17	21	25	30
0 ppm	6,9	8,4	9,0	11,4	11,8	11,9	14,3
0,6 ppm	4,5	6,1	7,8	9,4	10,5	11,9	12,6
0,9 ppm	4,0	5,4	7,0	7,6	10,8	11,0	12,6
1,2 ppm	4,5	5,5	6,6	7,1	9,8	10,4	11,4
DMS	3,8	3,7	3,2	4,9	3,5	2,6	3,4
Prob >F	0.092	0.088	0.103	0.080	0.139	0.066	0.117

Cuadro 20. Lectura de la variable de color ΔE^* en frutos tratados con diferentes tiempos de exposición a 1-MCP

Factor T de exposición	Días de almacenamiento a 10 °C						
	7	10	13	17	21	25	30
0 horas	6,9	8,4	9,0	11,4	11,8	11,9	14,3
1 hora	5,3	6,7	8,2	9,4	10,9	11,8	12,2
3 horas	4,2	5,8	7,4	7,3	10,3	10,7	11,6
5 horas	3,5	4,4	5,8	7,4	9,9	10,8	12,8
DMS	4,0	4,2	3,9	4,3	2,9	2,1	3,0
Prob >F	0.136	0.086	0.103	0.115	0.082	0.068	0.129

Cuadro 21. Valores de b^* de color en frutos tratados con diferentes tiempos de exposición a 1-MCP

Factor t de exposición	Días de almacenamiento a 10 °C							
	4	7	10	13	17	21	25	30
0 horas	47,2 ^a	48,9 ^a	49,5 ^a	46,4 ^a	43,4 ^a	45,4 ^a	43,3 ^a	41,9 ^a
1 hora	42,3 ^b	42,7 ^b	44,4 ^b	43,4 ^b	42,8 ^a	43,1 ^{ab}	42,0 ^a	43,2 ^a
3 horas	41,2 ^b	41,6 ^a	44,0 ^b	43,6 ^b	43,5 ^a	46,4 ^a	42,7 ^a	45,2 ^a
5 horas	38,2 ^c	38,6 ^c	40,3 ^c	40,6 ^c	40,4 ^b	42,1 ^b	42,3 ^a	44,6 ^a
DMS	2,9	2,8	3,5	2,8	2,0	3,2	1,5	3,6
Prob >F	0.042	0.020	0.035	0.041	0.016	0.044	0.125	0.146

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

Los resultados obtenidos de la variable a* se muestran en los Cuadros 23 y 24, así como en las Figuras 23 y 24. Esta variable corresponde a coloraciones de verde (valores negativos) a rojo (valores positivos) pasando por amarillo, por lo que se puede apreciar el cambio de tonalidad de los frutos de guayaba, adquiriendo su típico color amarillo conforme se incrementa el periodo de almacenamiento.

Cuadro 22. Lectura de la variable b* de color en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP

Factor [1-MCP]	Días de almacenamiento a 10 °C							
	4	7	10	13	17	21	25	30
0 ppm	47,2 ^a	48,9 ^a	49,5 ^a	46,4 ^a	43,4 ^a	45,4 ^a	43,3 ^a	41,9 ^a
0,6 ppm	41,8 ^a	42,2 ^a	44,7 ^a	42,8 ^a	42,9 ^a	42,5 ^a	43,4 ^a	43,7 ^a
0,9 ppm	39,8 ^a	40,4 ^a	41,8 ^a	42,3 ^a	41,7 ^a	44,0 ^a	41,9 ^a	45,1 ^a
1,2 ppm	40,1 ^a	40,4 ^a	42,1 ^a	42,5 ^a	42,1 ^a	45,2 ^a	41,7 ^a	44,3 ^a
DMS	7.8	8.9	8.4	5.2	3.9	4.7	3.6	3.5
Prob >F	0.076	0.110	0.075	0.085	0.092	0.146	0.099	0.137

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

Cuadro 23. Lectura de la variable a* de color en frutos tratados con diferentes tiempos de exposición a 1-MCP

Factor t de exposición	Días de almacenamiento a 10 °C							
	4	7	10	13	17	21	25	30
0 horas	-4,2 ^a	-1,7 ^{ab}	1,1 ^a	3,4 ^a	4,9 ^a	5,8 ^a	6,3 ^a	8,3 ^a
1 hora	-3,6 ^a	-1,4 ^a	0,7 ^a	2,0 ^{ab}	3,6 ^{ab}	4,9 ^a	6,2 ^a	6,6 ^{ab}
3 horas	-3,8 ^a	-2,3 ^{ab}	-0,8 ^a	1,2 ^b	1,9 ^{bc}	3,0 ^b	4,5 ^{ab}	4,8 ^{bc}
5 horas	-4,9 ^a	-3,9 ^b	-3,3 ^b	-1,6 ^c	0,2 ^c	1,9 ^b	3,7 ^b	4,0 ^c
DMS	1.7	2.3	2.1	1.8	2.0	1.2	2.0	1.9
F	0.143	0.023	0.032	0.019	0.048	0.036	0.043	0.017

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

Nuevamente se aprecia que el factor tiempo de exposición tiene mayor impacto sobre la variable a*, puesto que presenta mayor diferencia entre tratamientos a lo largo del periodo de almacenamiento, siendo 5 horas de tiempo de exposición el nivel que permite mantener por mas tiempo el color, como lo denotan el Cuadro 23, en la que los valores de este nivel son menores en casi

todo el periodo observado. En contraste, el factor concentración de 1-MCP solo muestra diferencias entre tratamientos hasta el día 13, periodo en el que los tratamientos a 0.6 ppm y 0.9 ppm permiten retrasar por más tiempo el cambio de color en los frutos de guayaba.

Cuadro 24. Lectura de la variable a^* de color en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP

Factor [1-MCP]	Días de almacenamiento a 10 °C								
	4	7	10	13	17	21	25	30	
0 ppm	-4,2 ^b	-1,7 ^{ab}	1,1 ^a	3,4 ^a	4,9 ^a	5,8 ^a	6,3 ^a	8,3 ^a	
0,6 ppm	-5,1 ^b	-3,3 ^b	-1,9 ^b	-0,2 ^b	2,0 ^b	2,8 ^b	4,3 ^b	4,7 ^b	
0,9 ppm	-4,7 ^b	-3,3 ^b	-1,8 ^b	-0,3 ^b	0,9 ^b	2,8 ^b	4,7 ^{ab}	4,6 ^b	
1,2 ppm	-2,4 ^a	-1,0 ^a	0,3 ^a	2,0 ^a	2,9 ^{ab}	4,3 ^{ab}	5,4 ^a	6,0 ^b	
DMS	1.91	2.12	2.30	2.10	2.51	1.86	2.05	1.97	
Prob >F	0.003	0.019	0.037	0.030	0.018	0.043	0.017	0.25	

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

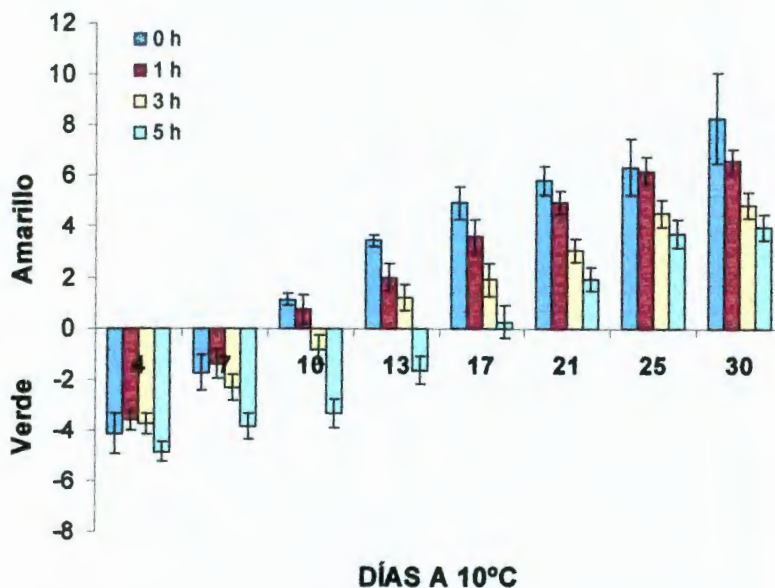


Figura 23. Efecto del tiempo de exposición a 1-MCP sobre la variable a^* de color en frutos de guayaba.

El índice de matiz (h) se puede calcular a partir de las variables b^* y a^* , sin embargo, no es necesario realizar este cálculo puesto que el instrumento empleado para el análisis de color lo proporciona directamente. No obstante, es importante señalarlo para tener en cuenta que esta variable puede ser

considerada como una valoración que agrupa en forma general a las otras dos variables mencionadas. La comparación de medias se presenta en los Cuadros 25 y 26.

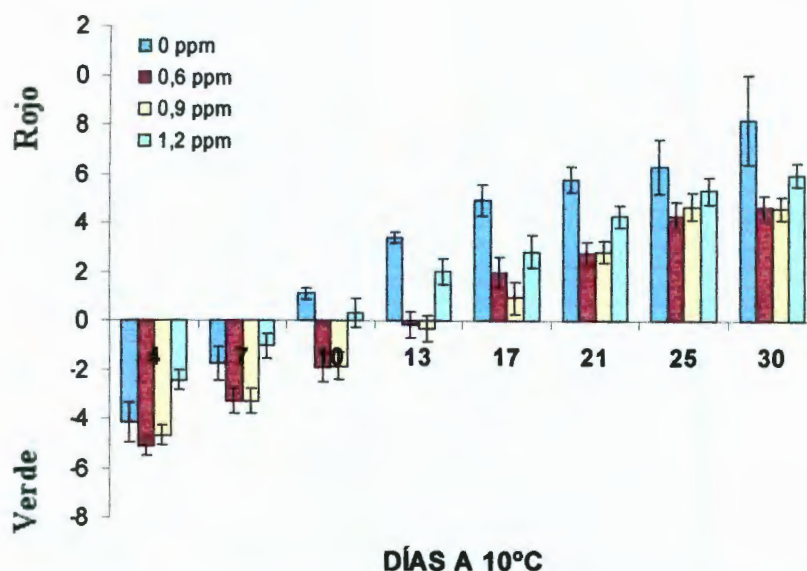


Figura 24. Efecto de la concentración de 1-MCP sobre la coordenada de color (a*) de color en frutos de guayaba.

Cuadro 25. Matiz de color en frutos tratados con diferentes tiempos de exposición a 1-MCP

Factor t de exposición	Días de almacenamiento a 10 °C							
	4	7	10	13	17	21	25	30
0 horas	95,1 ^b	92,0 ^b	88,7 ^b	85,8 ^c	83,5 ^c	82,7 ^b	81,6 ^b	78,9 ^c
1 hora	95,0 ^b	91,9 ^b	89,1 ^b	87,4 ^{bc}	85,1 ^{bc}	83,4 ^b	81,5 ^b	81,3 ^{bc}
3 horas	95,3 ^b	93,2 ^b	91,1 ^b	88,4 ^b	87,5 ^{ab}	86,2 ^a	83,9 ^{ab}	83,8 ^{ab}
5 horas	97,3 ^a	95,6 ^a	94,7 ^a	92,3 ^a	89,7 ^a	87,4 ^a	84,9 ^a	84,9 ^a
DMS	1.9	2.1	3.0	2.7	3.4	2.2	2.4	3.1
Prob >F	0.020	0.048	0.039	0.012	0.015	0.045	0.026	0.034

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$)

Con base a estos resultados se puede afirmar que los niveles de los factores que permiten retrasar por más tiempo el cambio de color en los frutos analizados, son 5 horas en el caso del factor tiempo de exposición, y una concentración de 0.6 y 0.9 ppm en lo referente al factor concentración de 1-MCP.

Estos resultados son congruentes con lo analizado en párrafos anteriores, donde se analizaron las variables a* y b*.

Cuadro 26. Matiz de color en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP

Factor [1-MCP]	Días de almacenamiento a 10 °C							
	4	7	10	13	17	21	25	30
0 ppm	95,1 ^{ab}	92,0 ^{bc}	88,7 ^b	85,8 ^b	83,5 ^c	82,7 ^b	81,6 ^a	78,9 ^c
0,6 ppm	97,2 ^a	94,6 ^{ab}	92,6 ^a	90,3 ^a	87,4 ^{ab}	86,3 ^a	84,2 ^a	83,8 ^a
0,9 ppm	96,8 ^a	94,8 ^a	92,7 ^a	90,5 ^a	88,8 ^a	86,2 ^a	83,5 ^a	84,1 ^a
1,2 ppm	93,6 ^b	91,4 ^c	89,5 ^b	87,2 ^b	86,1 ^b	84,4 ^b	82,6 ^a	82,2 ^b
DMS	2.7	2.6	2.2	2.0	1.9	1.7	2.7	1.2
Prob >F	0.025	0.034	0.044	0.039	0.048	0.024	0.063	0.038

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$)

La Figura 25 muestra los frutos de guayaba en una fotografía tomada a los 13 días de almacenamiento a 10°C, en la cual se puede observar el efecto de las diferentes concentraciones y tiempos de exposición al 1-MCP. Esta Figura permite mostrar claramente como el gas aplicado a los frutos de guayaba permitió retener por mas tiempo el cambio de color de verde-amarillo a amarillo.

El 1-MCP permitió retrasar el efecto de cambio de color en los frutos de guayaba, dado a su acción competitiva por los sitios de unión del etileno. Al inhibir de esta forma la acción del etileno, se bloquean algunas rutas de síntesis metabólicas como lo son las encargadas del cambio de color en frutos de guayaba, tal es el caso de la degradación de clorofila por medio de la enzima llamada clorofilasa, la cual se modula positivamente por la acción del etileno.

Bassetto (2002) encontró que el ángulo de matiz (h) decrece en menor proporción en frutos tratados con 1-MCP. Ejemplo de otras investigaciones donde se logró evitar por mayor tiempo el cambio de color en frutos tratados con 1-MCP, son las realizadas por Boquete *et al* (2004), Kluge *et al* (2002), Kleiber *et al* (2003) y Lalel *et al* (2003), quines trabajaron con kiwi, aguacate, plátano y mango respectivamente.

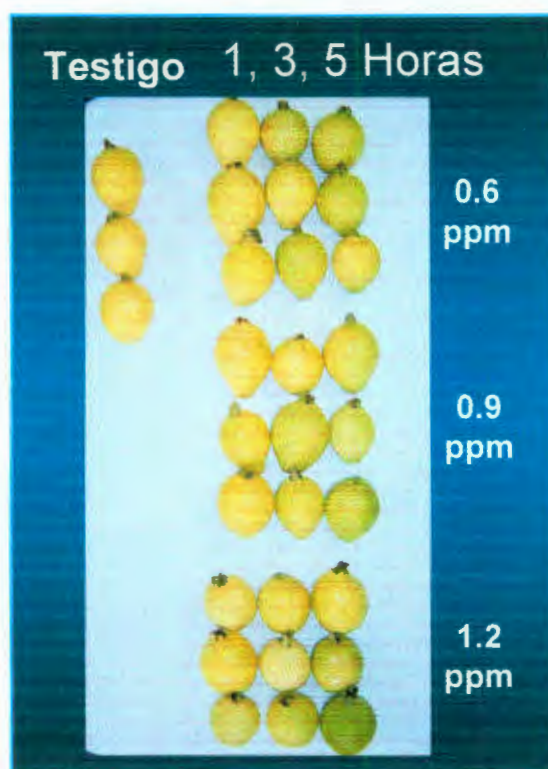


Figura 25. Efecto de la concentración y tiempo de exposición al 1-MCP sobre el color en frutos de guayaba.

5.1.4. Efecto sobre los factores fisicoquímicos

5.1.4.1. Cambio en la acidez total titulable

En lo referente a la acidez total titulable no se encontraron diferencias estadísticamente significativas al comparar medias por Tukey. Los resultados se muestran en la Figura 26 y en los Cuadros 27 y 28.

En estos cuadros se puede observar el aumento de la acidez conforme aumenta el periodo de almacenamiento, aunque sólo se debe al proceso de maduración, sin que se observe un efecto debido a la exposición al 1-MCP.

El patrón de cambio en acidez titulable durante la maduración varía con el cultivar; en algunos casos, la acidez titulable disminuye, mientras en otros, el nivel de ácido se incrementa durante la maduración (Paull y Goo, 1983). Para el caso de la variedad 'Media china' Mercado-Silva *et al* (1998) menciona una disminución

de este factor al pasar de 0.7 a 0.54%, contrastando con los resultados encontrados en el presente estudio.

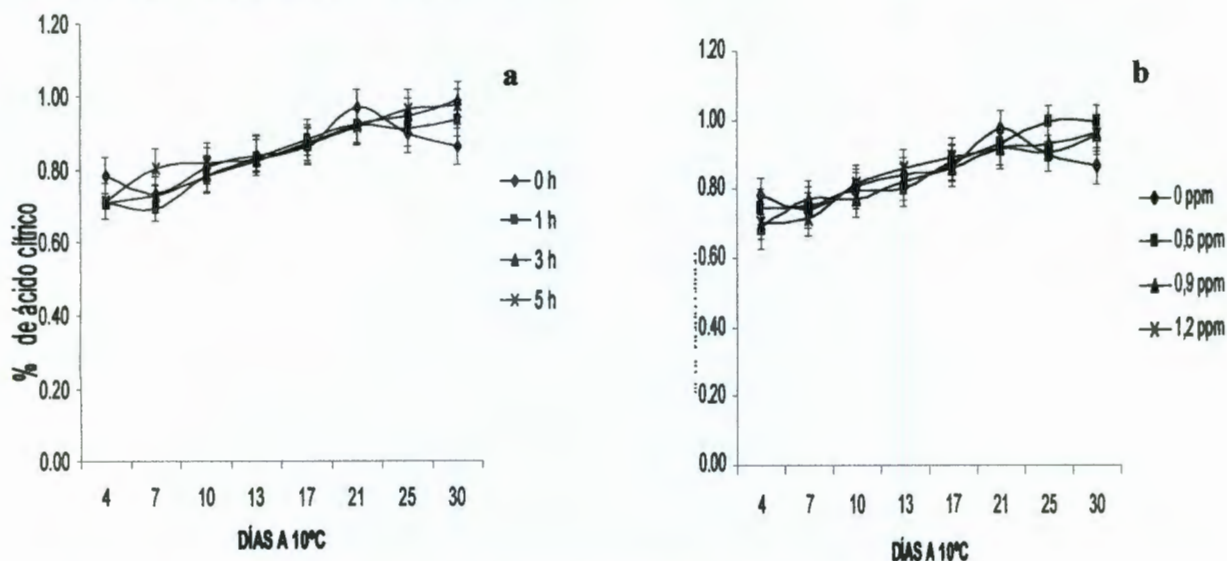


Figura 26. Efecto del tiempo de exposición (a) y concentración (b) de 1-MCP sobre el porcentaje de acidez, expresada como ácido cítrico, en frutos de guayaba.

Cuadro 27. Efecto sobre la acidez total en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP

Factor [1-MCP]	Días de almacenamiento a 10 °C						
	7	10	13	17	21	25	30
0 ppm	0,78	0,74	0,81	0,84	0,86	0,97	0,90
0,6 ppm	0,74	0,75	0,79	0,80	0,88	0,93	0,99
0,9 ppm	0,69	0,77	0,77	0,82	0,86	0,92	0,93
1,2 ppm	0,70	0,71	0,82	0,86	0,89	0,91	0,90
DMS	0.016	0.12	0.11	0.13	0.09	0.10	0.14
Prob >F	0.052	0.129	0.112	0.145	0.081	0.072	0.107

Cuadro 28. Efecto sobre la acidez total a diferentes tiempos de exposición a 1-MCP

Factor t de exposición	Días de almacenamiento a 10 °C						
	7	10	13	17	21	25	30
0 horas	0,78	0,74	0,81	0,84	0,86	0,97	0,90
1 hora	0,71	0,70	0,78	0,83	0,88	0,92	0,91
3 horas	0,71	0,73	0,78	0,82	0,87	0,92	0,95
5 horas	0,71	0,80	0,82	0,83	0,87	0,92	0,97
DMS	0.10	0.15	0.09	0.08	0.07	0.11	0.12
Prob >F	0.131	0.143	0.099	0.127	0.073	0.091	0.178

Basseto (2002) reportó resultados de tendencia similar a los encontrados en el presente estudio. El autor aplicó concentraciones de 0.1, 0.3 y 0.9 ppm de 1-MCP a guayabas de la variedad 'Pedro Sato', observando una mayor acidez en los frutos tratados con el 1-MCP, la cual fue proporcional a la concentración del gas.

Otros autores no reportan un aumento en la acidez de los frutos tratados con 1-MCP, sin embargo se encontró que se disminuye la pérdida de acidez en productos como el albaricoque (Dong *et al.*, 2002), la ciruela (Menitti *et al.*, 2004) y el durazno (Fan *et al.*, 2002).

5.1.4.2. Cambio en el contenido de azúcares totales

En lo que respecta a la concentración de azúcares en los frutos de guayaba, los resultados, al igual que lo observado en la variable acidez, no mostraron diferencias significativas. Los valores encontrados al analizar los frutos de guayaba durante el periodo de almacenamiento se encuentran en la Figura 27 y en los Cuadros 29 y 30.

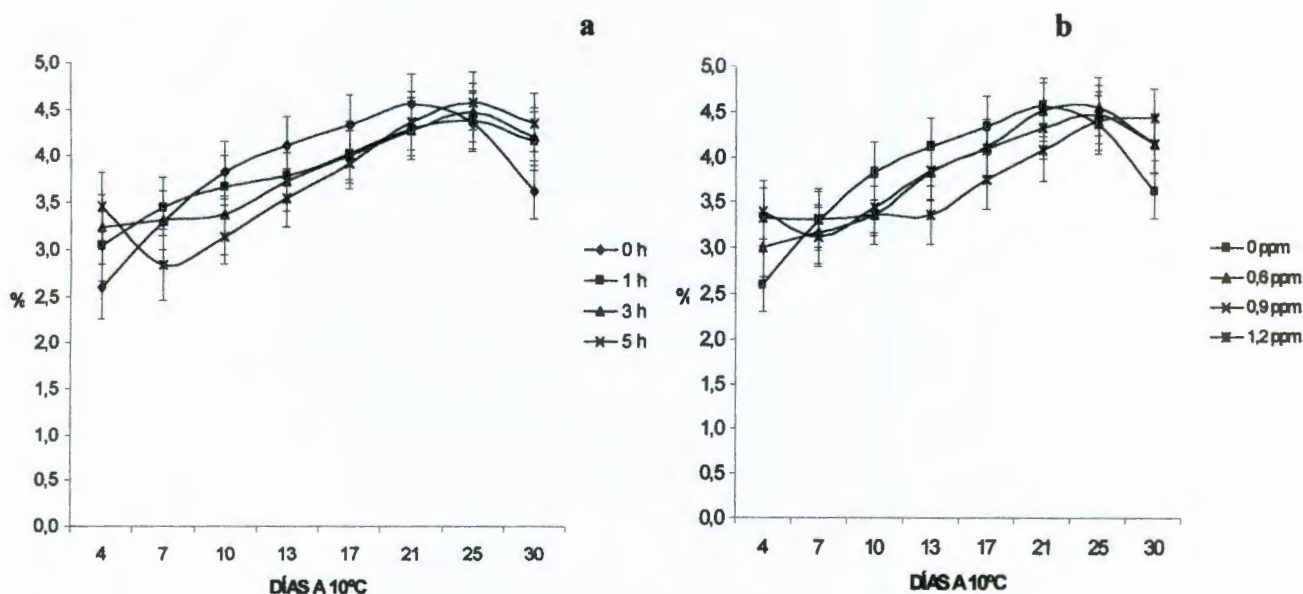


Figura 27. Efecto del tiempo de exposición (a) y concentración (b) de 1-MCP sobre los azúcares totales en frutos de guayaba.

Por su parte, Mercado-Silva *et al.* (1998), indicaron un incremento en frutos cosechados en primavera-verano de 7.8 a 10% SST. Lo anterior es congruente con lo encontrado en el presente trabajo, aunque en nuestro caso se obtuvieron valores menores de % de azúcares, sin existir diferencias entre los frutos a los que se les aplicó 1-MCP en comparación con los frutos control. En la Figura 27 se puede observar como al día 30 de almacenamiento a 10°C el contenido de azúcares cae considerablemente, denotando el deterioro causado por la respiración de los frutos al someterlos a un periodo de almacenamiento bastante largo.

Estos resultados son congruentes con los reportados por Colleli *et al.* (2003) en sus investigaciones en tomate, así como Hofman *et al.* (2002) y Jacomino *et al.* (2002) quienes trabajaron con papaya. Estos autores mencionan que no existió variación en lo referente a sólidos solubles en papaya tratada con el compuesto 1-MCP en relación con su contraparte sin tratamiento.

Cuadro 29. Efecto sobre la cantidad de azúcares totales en frutos tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP

Factor [1-MCP]	Días de almacenamiento a 10 °C							
	4	7	10	13	17	21	25	30
0 ppm	2,6	3,3	3,8	4,1	4,3	4,6	4,4	3,6
0,6 ppm	3,0	3,2	3,4	3,8	4,1	4,5	4,5	4,1
0,9 ppm	3,4	3,1	3,4	3,9	4,1	4,3	4,5	4,1
1,2 ppm	3,3	3,3	3,4	3,4	3,7	4,1	4,4	4,4
DMS	1.0	0.8	0.9	1.3	1.2	1.1	0.7	0.9
Prob >F	0.088	0.131	0.126	0.96	0.174	0.179	0.107	0.071

Cuadro 30. Efecto sobre la cantidad de azúcares totales en frutos tratados con diferentes tiempos de exposición a 1-MCP

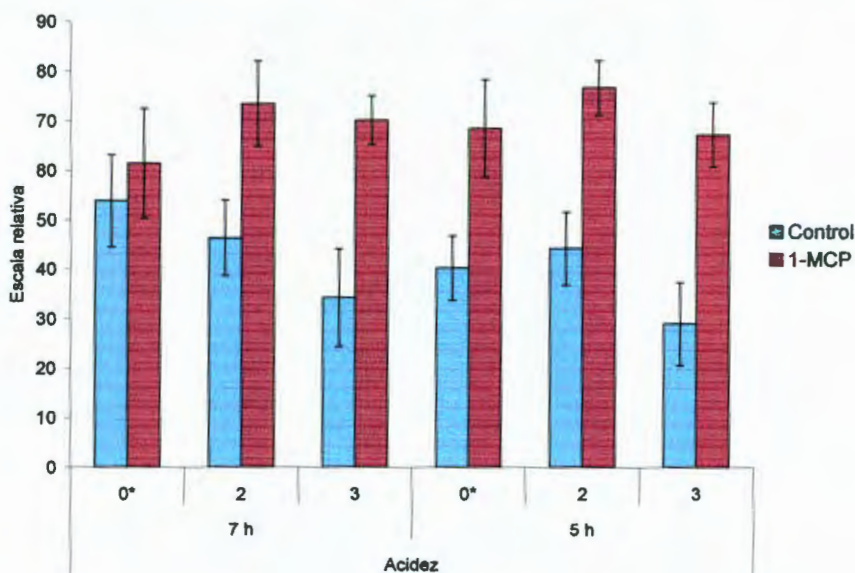
Factor t de exposición	Días de almacenamiento a 10 °C							
	4	7	10	13	17	21	25	30
0 horas	2,6	3,3	3,8	4,1	4,3	4,6	4,4	3,6
1 hora	3,0	3,4	3,7	3,8	4,0	4,3	4,4	4,1
3 horas	3,2	3,3	3,4	3,7	4,0	4,3	4,5	4,2
5 horas	3,5	2,8	3,1	3,5	3,9	4,4	4,6	4,3
1.8	1.8	1.2	1.4	1.3	0.8	0.6	0.5	1.0
Prob >F	0.143	0.120	0.081	0.117	0.133	0.074	0.136	0.097

5.1.5. Efecto sobre las características sensoriales

En este experimento se analizaron cinco atributos sensoriales en guayabas tratadas con el 1-MCP, los cuales fueron: acidez, dulzura, textura, aroma y color, cuyos resultados se muestran a continuación.

5.1.5.1. Acidez

Los resultados obtenidos al realizar el análisis sensorial de los frutos tratados con 1-MCP en lo referente al atributo acidez, se muestran en la Figura 28. Se puede observar gráficamente cómo los frutos tratados con 1-MCP tienen una mayor expresión del atributo, en relación a los frutos tomados como referencia. Esta característica estuvo presente en los tres puntos de muestreo y se correlaciona con los datos obtenidos del análisis de acidez (Cuadro 31).



*Días a temperatura ambiente después de 24 días de almacenamiento a 10 °C.

Figura 28. Efecto del tiempo de exposición sobre el atributo acidez, medido sensorialmente en frutos de guayaba.

Estos resultados sugieren que al bloquear el sitio de unión del etileno se altera el proceso normal de maduración en guayaba, lo que puede ocasiona

trastornos fisiológicos que dan por resultado características no deseadas en el fruto, como en este caso, donde se obtuvo una acidez mas alta que en el control (0.79%) siendo claramente perceptible al paladar por los panelistas.

Cuadro 31. Acidez expresada como porcentaje de ácido cítrico de los frutos tratados con 1-MCP

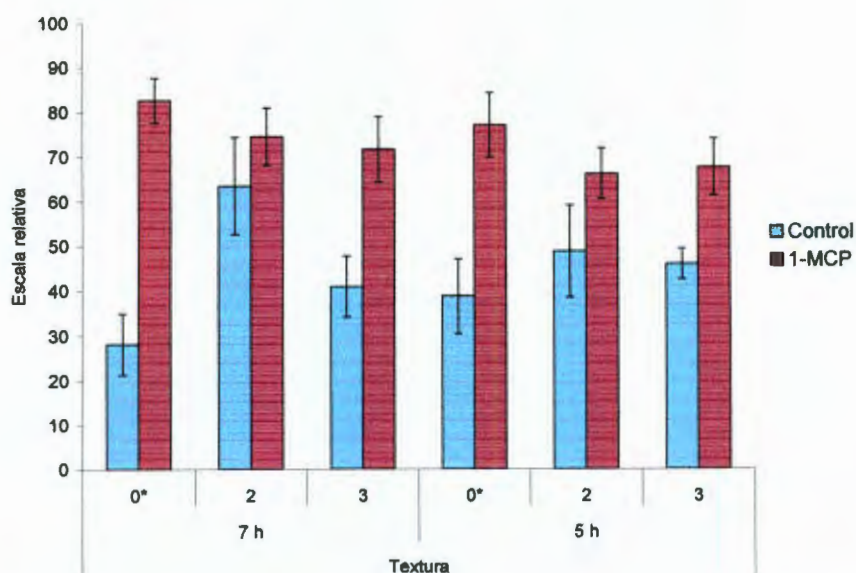
Tiempo de exposición a 0.6 ppm de 1-MCP (h)	Días a temperatura ambiente después de 24 días a 10°C		
	0	2	3
5	1.18 ^b	1.07 ^b	1.33 ^b
7	1.04 ^b	1.24 ^b	1.21 ^b
Referencia*	0.76 ^a	0.79 ^a	0.75 ^a
DMS	0.20	0.22	0.25
Prob >F	0.016	0.034	0.041

*Valor correspondiente a la fruta en estado de madurez comercial, de frutos cosechados en la misma huerta.

Los valores encontrados son congruentes con los reportados por Bassetto (2002), quien reportó que al exponer los frutos de guayaba (var 'Pedro Sato') a concentraciones de 0, 100, 300 y 900 nL L⁻¹ de 1-MCP durante tres horas, obtuvo valores de acidez titulable de 0.72, 0.73, 0.77 y 0.84 % de ácido cítrico respectivamente. Esta variable fue determinado por el autor al momento que los frutos alcanzaron su completa madurez.

5.1.5.2. Textura

En el experimento No. 1, correspondiente al tratamiento de frutos de guayaba con diferentes niveles de concentración y tiempo de exposición al 1-MCP, se constató que los frutos permanecen más firmes que los frutos control durante el tiempo de almacenamiento a 10°C. Los resultados de la evaluación sensorial se muestran en la Figura 29, y los resultados del análisis instrumental de la textura de esos mismos frutos se muestra en el Cuadro 32.



*Días a temperatura ambiente después de 24 días de almacenamiento a 10 °C.

Figura 29. Efecto del tiempo de exposición sobre el atributo textura, medido sensorialmente en frutos de guayaba.

Como parte del análisis sensorial se determinó la textura mediante la apreciación de los panelistas al momento de morder el fruto, y los resultados encontrados fueron consistentes con lo encontrado en el experimento anterior.

Cuadro 32. Textura (N) de los frutos tratados con 1-MCP

Tiempo de exposición a 0.6 ppm de 1-MCP (h)	Días a temperatura ambiente después de 24 días a 10°C		
	0	2	3
5	17.9 ^b	11.4 ^{ab}	9.31 ^a
7	29.8 ^c	13.1 ^b	9.38 ^a
Referencia*	9.2 ^a	10.1 ^a	8.0 ^a
DMS	8.1	2.3	2.1
Prob >F	0.033	0.042	0.075

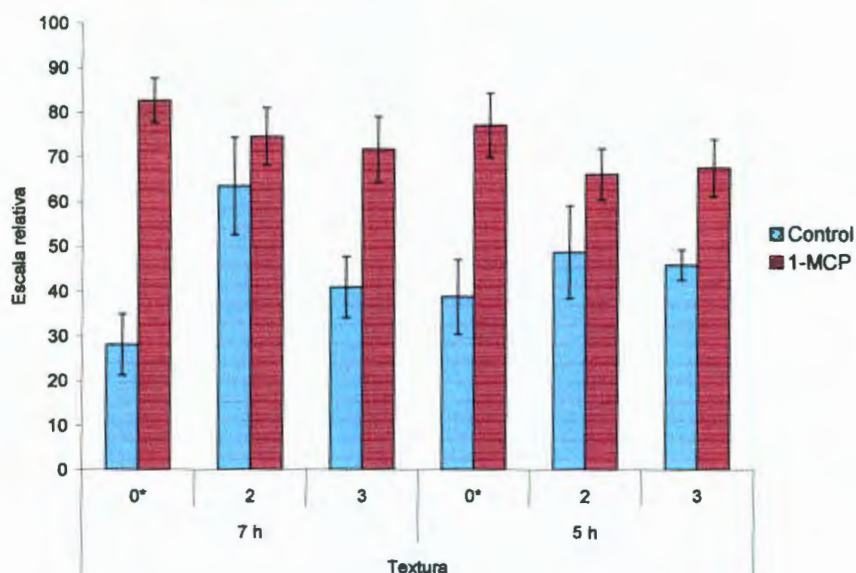
*Valor correspondiente a la fruta en estado de madurez comercial, de frutos cosechados en la misma huerta.

La textura es quizás la variable sobre la cual se muestran de forma más tangible los efectos del 1-MCP. Los resultados muestran una vez más que este compuesto es eficaz en evitar la pérdida de firmeza que sufre la guayaba después de ser cosechada. Cabe destacar el hecho de que los frutos expuestos por mayor

tiempo al gas (7 horas), presentaron mayor textura que los frutos expuestos por 5 horas y por supuesto, que el control. Lo anterior también fue perceptible sensorialmente, como lo evidencia la Figura 29. En todos los productos frutícolas a los que se les ha aplicado el 1-MCP se han encontrado resultados similares, incluyendo guayaba, variedad 'Pedro Sato', donde Bassetto (2002) reporta que después de 14 días a 10°C mas 2 días a temperatura ambiente, los frutos tratados con 240 nL L⁻¹ fueron 23.13% más firmes en comparación con los frutos control (16.5 y 13.4 N, respectivamente).

5.1.5.3. Dulzura

En lo referente al estímulo de dulzura, los resultados arrojados por el presente estudio se muestran en la Figura 30.



*Días a temperatura ambiente después de 24 días de almacenamiento a 10 °C.

Figura 30. Efecto del tiempo de exposición sobre la dulzura, medida sensorialmente en frutos de guayaba.

El efecto del 1-MCP sobre este estímulo indica que los frutos tratados con este gas afectan entre otros procesos fisiológicos, los que se encargan de metabolizar azúcares, dando como resultado un producto con menor dulzura claramente perceptible al sentido del gusto. De manera complementaria se realizó

un análisis colorimétrico para determinar la cantidad de azúcares totales presentes en los frutos, los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 33. El análisis de estos datos muestra gran congruencia con los graficados en la Figura 30.

En el Cuadro 33 se puede observar que al exponer los frutos de guayaba al gas 1-MCP durante 5 horas, se tiene como consecuencia una menor cantidad de azúcares. No obstante, al transferir estos frutos a temperatura ambiente se promueve la síntesis de ellos, incrementando el grado de dulzor en el producto aunque sin igualar al de los frutos control. Caso contrario sucede con los frutos expuestos durante 7 horas al gas. En estos frutos se tiene una mayor concentración de azúcares al final del periodo de almacenamiento a 10°C, y disminuye al segundo y tercer día después de ser transferidos a temperatura ambiente.

Cuadro 33. Azúcares totales (%) de los frutos tratados con 1-MCP

Tiempo de exposición a 0.6 ppm de 1-MCP (h)	Días a temperatura ambiente después de 24 días a 10°C		
	0	2	3
5	3.21 ^a	3.6 ^{ab}	3.75 ^{ab}
7	4.3 ^{ab}	2.86 ^a	1.45 ^a
Referencia*	4.86 ^b	5.21 ^b	4.79 ^b
DMS	1.2	2.1	2.7
Prob >F	0.009	0.016	0.031

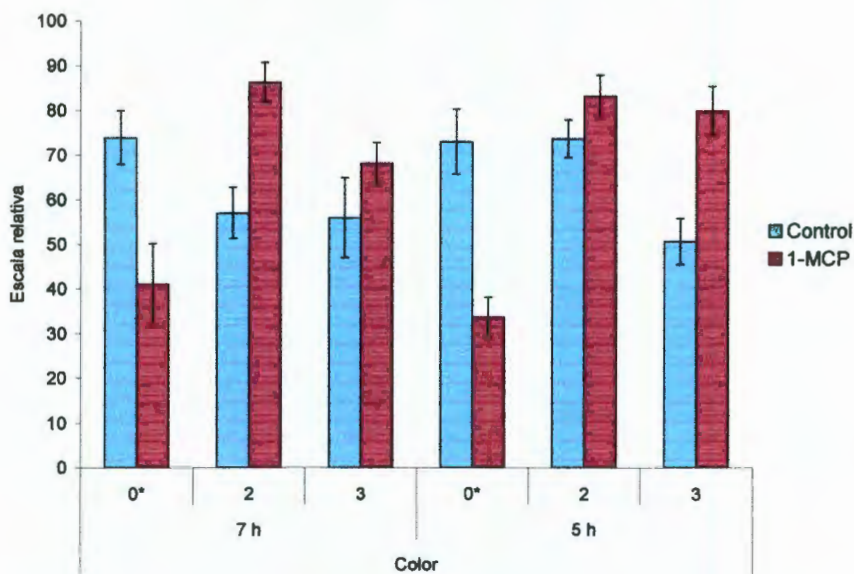
*Valor correspondiente a la fruta en estado de madurez comercial, de frutos cosechados en la misma huerta.

En el experimento factorial con 1-MCP se observó que los niveles más altos de los factores promovían una mayor tasa de respiración en los frutos, lo cual puede ser la causa de que pierdan azúcares al ser transferidos a temperatura ambiente, siendo más evidente este efecto en los frutos tratados con el nivel más alto de tiempo de exposición (7 horas).

5.1.5.4. Color

La Figura 31 muestra los datos obtenidos de la evaluación sensorial realizada a los frutos tratados con 1-MCP. En ambos tratamientos (5 y 7 horas de exposición) se observa como los frutos tratados con el gas presentan un menor grado de color “amarillo característico” después de 24 días a 10°C. Estos datos son interesantes por el hecho de que los frutos muestran su color característico después de su exposición a dos y tres días a temperatura ambiente, adquiriendo un color mas amarillo que el de los frutos control.

En los cuadros 34 y 35 se muestran los resultados del análisis de color realizado a los frutos por medio del colorímetro. Los valores encontrados confirman los observados en la evaluación sensorial.



*Días a temperatura ambiente después de 24 días de almacenamiento a 10 °C.

Figura 31. Efecto del tiempo de exposición sobre el atributo color, medido sensorialmente en frutos de guayaba.

Tanto la gráfica como los cuadros presentados anteriormente, sugieren que el color en las guayabas tratadas con 1-MCP depende en gran medida de factores externos como lo es la temperatura. Al exponer los frutos a temperatura ambiente se acelera el proceso metabólico y las reacciones que participan en la maduración de los frutos. En estos resultados se observa un efecto detonante,

debido a que la degradación de clorofila de los frutos fue interrumpida por la acción del bloqueador de etileno, hasta su transferencia a 20°C, momento a partir del cual se inicia un proceso de degradación a mayor velocidad en comparación con los frutos de referencia.

Cuadro 34. Lectura de a* de frutos tratados con 1-MCP

Tiempo de exposición a 0.6 ppm de 1-MCP (h)	Días a temperatura ambiente después de 24 días a 10°C		
	0	2	3
5	-3.83 ^a	3.97 ^b	5.97 ^b
7	-3.99 ^a	3.64 ^b	5.61 ^b
Referencia*	3.12 ^b	2.85 ^a	3.51 ^a
DMS	2.2	0.65	1.6
Prob >F	0.026	0.044	0.030

*Valor correspondiente a la fruta en estado de madurez comercial, de frutos cosechados en la misma huerta.

Cuadro 35. Matiz de frutos tratados con 1-MCP

Tiempo de exposición a 0.6 ppm de 1-MCP (h)	Días a temperatura ambiente después de 24 días a 10°C		
	0	2	3
5	94.62 ^b	85.15 ^a	83.87 ^a
7	95.17 ^b	85.96 ^a	83.8 ^a
Referencia*	91.08 ^a	90.41 ^b	91.26 ^b
DMS	2.8	3.1	4.0
Prob >F	0.008	0.015	0.012

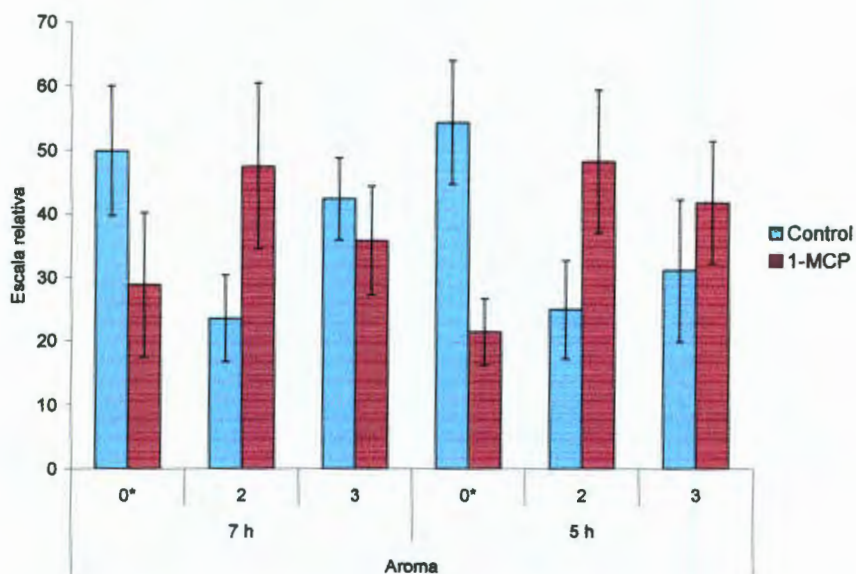
*Valor correspondiente a la fruta en estado de madurez comercial, de frutos cosechados en la misma huerta.

Por medio del colorímetro se analizaron todas las variables para el que el instrumento está diseñado, sin embargo sólo se reportaron las de mayor relevancia.

5.1.5.5. Aroma

En lo referente al estímulo de aroma se obtuvieron resultados con un comportamiento similar al estímulo de color, como se observa en la Figura 32.

En este caso, el factor temperatura juega un papel importante, y máxime si consideramos que el aroma esta directamente relacionado con la proporción de síntesis así como de la facilidad con que se dispersan los compuestos volátiles. Este es uno de los motivos por los cuales el fruto presenta menor aroma al término del periodo de almacenamiento, cuando el fruto está adaptándose a la temperatura ambiente. Bruno (2004) en un estudió analizado en manzana con tratamientos de 1-MCP, encontró que el 1-MCP inhibe la síntesis de compuestos responsables del aroma. Al respecto, el autor encontró una que la cantidad de alcoholes totales en frutos tratados con 1-MCP representan el 50% de los que no habían sido tratados con este gas, caso similar fue el de los esteres totales, donde la reducción fue mas dramática, siendo de $826 \pm 135 \text{ nL L}^{-1}$ para la fruta control, y de $55 \pm 14 \text{ nL L}^{-1}$ para la tratada con 1-MCP.



*Días a temperatura ambiente después de 24 días de almacenamiento a 10 °C.

Figura 32. Efecto del tiempo de exposición sobre el atributo aroma, medido sensorialmente en frutos de guayaba.

Asimismo, es interesante hacer destacar que los frutos tratados con 1-MCP aparentemente incrementaron la intensidad del estímulo aroma después de permanecer 2 y tres días a temperatura ambiente, fenómeno que fue más

visible al tiempo de exposición de 5h que en el de 7 h, en donde no se observó el mismo comportamiento.

Finalmente, es importante mencionar que en este experimento las interacciones no fueron representativas en ninguna de las variables estudiadas.

5.2. Efecto de la fertilización en la calidad del fruto

5.2.1. Descripción de las apreciaciones visuales

En este inciso se presentan los resultados obtenidos del análisis de calidad en frutos obtenidos de huertos fertilizados de diferente forma, determinando la influencia que tiene el tipo de fertilización como factor pre cosecha, en la calidad y vida de anaquel de la guayaba (*Psidium guajava*). Los tratamientos realizados se muestran en el Cuadro 36.

Cuadro 36. Tratamientos realizados con diferente tipo de fertilización en árboles de guayaba

Tratamiento	Fertilizante aplicado	
	1a aplicación	2a aplicación
T1	Nitrofoska ®	Nitrofoska ®
T2	Sulfato de amonio Superfosfato de calcio simple	Nitrato de Ca al 45%
T3	Lombricomposta	Lombricomposta
T4	Triple 17	Nitrato de Ca al 45%

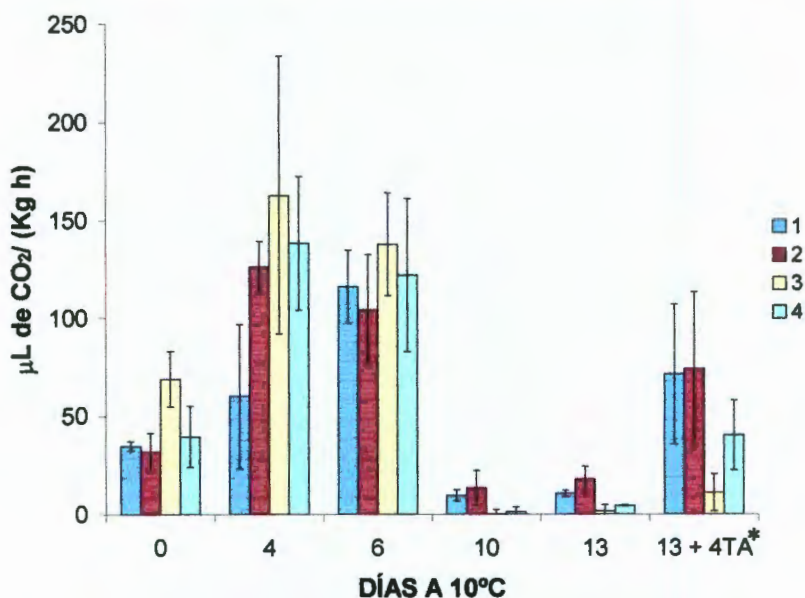
En el campo se pudo apreciar que los frutos que mejores características de textura presentaron fueron los de los tratamientos T3 y T4, este último también mostró mejor retención de color. Una observación de interés fue el hecho de que el tamaño promedio de los frutos tratados con lombricomposta fue superior a todos los demás tratamientos, hecho que es de suma importancia para el productor debido a que el rendimiento está directamente relacionado con los ingresos obtenidos de la venta de su producto.

Estas características observadas en forma empírica fueron corroboradas instrumentalmente en el laboratorio, observando su comportamiento a través del tiempo. A continuación se muestran los resultados obtenidos de estas determinaciones.

5.2.2. Efecto sobre la fisiología del fruto

5.2.2.1. Tasa de respiración

En el caso de producción de CO₂, los resultados no revelan diferencia significativa entre los tratamientos empleados, lo cual sugiere que el tipo de fertilización no es un factor determinante para esta variable. Los resultados de la tasa de respiración se muestran en la Figura 33 y en el Cuadro 37.



*TA. Temperatura ambiente.

Figura 33. Efecto del tipo de fertilización sobre la tasa de respiración en frutos de guayaba.

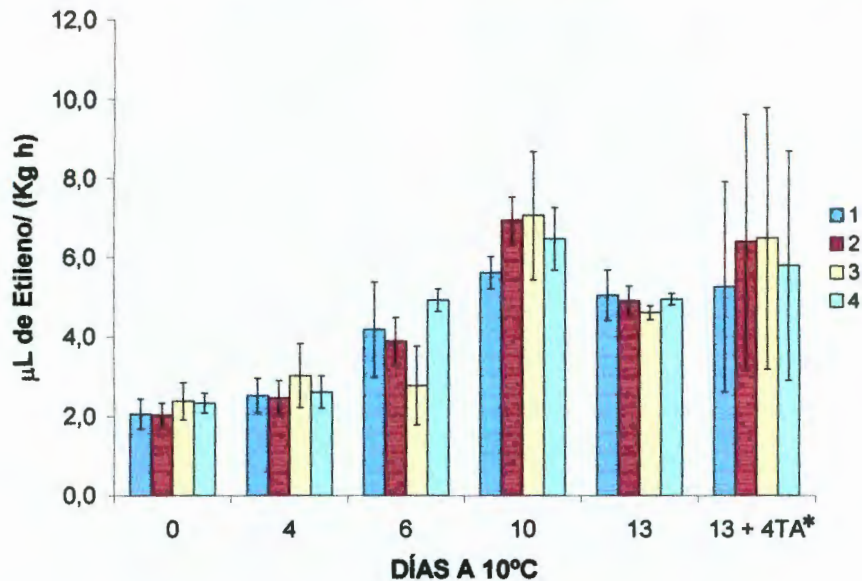
Cuadro 37. Efecto del tipo de fertilización sobre la tasa de respiración (µL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) de color en frutos de guayaba

Tratamiento	Días de almacenamiento a 10 °C					
	0	4	6	10	13	13 + 4TA
T1	34,80	60,05	115,86	9,63	10,68	71,25
T2	32,09	126,04	104,13	13,47	17,84	73,89
T3	68,81	162,54	137,54	0,14	1,65	11,15
T4	39,61	138,14	121,78	1,18	4,38	40,17
DMS	58.3	136.2	97.5	88.4	75.9	106.7
Prob >F	0.271	0.187	0.273	0.342	0.241	0.106

*TA. Temperatura ambiente.

5.2.2.2. Producción de etileno

Al igual que en la variable anterior, la producción de etileno no presentó diferencias estadísticas al nivel de significancia empleado. Los resultados de la producción de etileno se muestran en la Figura 34 y en el Cuadro 38.



*TA. Temperatura ambiente.

Figura 34. Efecto del tipo de fertilización sobre la producción de etileno en frutos de guayaba.

Cuadro 38. Efecto del tipo de fertilización sobre la producción de etileno ($\mu\text{L de Etileno kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) en frutos de guayaba

Tratamiento	Días de almacenamiento a 10 °C					
	0	4	6	10	13	13 + 4TA
T1	2,06 ^a	2,52 ^a	4,18 ^{ab}	5,61 ^a	5,05 ^a	5,25 ^a
T2	2,04 ^a	2,47 ^a	3,89 ^{ab}	6,93 ^a	4,90 ^a	6,39 ^a
T3	2,38 ^a	3,02 ^a	2,77 ^b	7,05 ^a	4,60 ^a	6,48 ^a
T4	2,34 ^a	2,61 ^a	4,92 ^a	6,46 ^a	4,94 ^a	5,79 ^a
DMS	0.8	0.9	1.8	1.7	0.8	1.5
Prob >F	0.280	0.330	0.041	0.199	0.124	0.285

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

*TA. Temperatura ambiente.

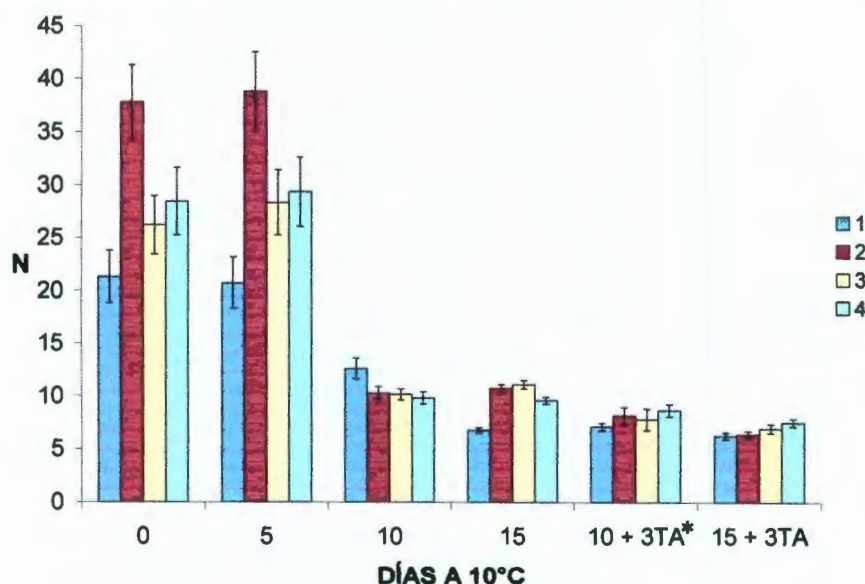
En literatura no se han reportado experimentos en dónde se relacione la influencia del tipo de fertilización sobre la tasa de respiración y producción de

etileno en guayaba, aunque en raíces, se ha observado que la tasa de respiración se incrementa cuando aumenta la disponibilidad de compuestos nitrogenados en suelo (Zogg, et. al.,1996). Por otra parte, Jacob y Von (1973) menciona que el Ca^{++} como fertilizante disminuye la tasa de respiración en fruto, aunque esta observación parece ser valida solamente para el T4.

5.2.3. Efecto sobre los factores físicos

5.2.3.1. Cambios de textura

Los efectos de los diferentes tipos de fertilización aplicados en árboles de guayaba se muestran en la Figura 35 así como en el Cuadro 39. El T2 fue el tratamiento que presentó mejor textura al momento de la cosecha y durante prácticamente todo el periodo de almacenamiento, aunque a partir del día 15 así como en las transferencias a temperatura ambiente (TA = 20°C), la diferencia no fue significativa. En contraste, el T1 Fue el que presentó los valores más bajos de firmeza, con excepción del día 10 a 10°C.



*TA. Temperatura ambiente.

Figura 35. Efecto del tipo de fertilización sobre la textura en frutos de guayaba.

Por su parte, el T3 y T4 mantuvieron una firmeza comparable a T2 al día 10 y 15 de almacenamiento a 10 °C. Es necesario resaltar que después de mantener los frutos a 20 °C (TA) no se observó diferencia estadísticamente significativa, por lo que las características de textura de la fruta en anaquel, es decir, después del periodo de almacenamiento, no dependen del tipo de fertilización empleado.

Cabe señalar que los frutos sufren un daño mecánico considerable durante el manejo en cosecha así como en las operaciones de empaque, y se ha observado que los frutos que tienen mayor firmeza demeritan en menor medida su calidad al momento de ser empacados. En este sentido, es importante cuidar este aspecto desde precosecha, motivo por el cual el T2 resultaría una buena opción, seguido por el T4. Estos tratamientos pueden deber esta característica al hecho de que en la segunda aplicación de fertilizante emplearon Nitrato de Ca, el cual en investigaciones previas (Rivas, 2002) se ha demostrado su efecto positivo al mejorar la firmeza de los frutos.

Cuadro 39. Efecto del tipo de fertilización sobre la textura (N) en frutos de guayaba

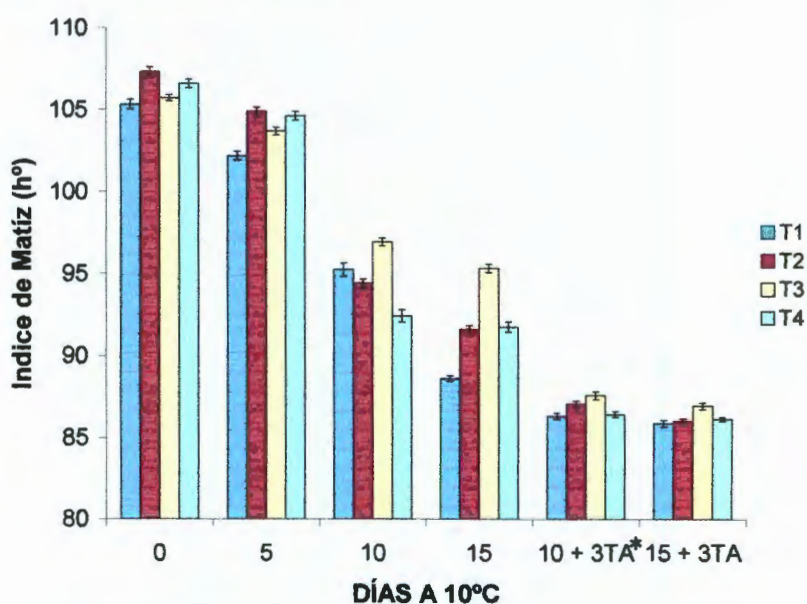
Tratamiento	Días de almacenamiento a 10 °C					
	0	5	10	15	10 + 3TA	15 + 3TA
T1	21,30 ^a	20,71 ^a	12,59 ^a	6,75 ^b	7,09 ^a	6,23 ^a
T2	37,80 ^c	38,82 ^a	10,25 ^a	10,74 ^a	8,17 ^a	6,38 ^a
T3	26,20 ^{ab}	28,35 ^a	10,14 ^a	11,09 ^a	7,78 ^a	6,92 ^a
T4	28,46 ^b	29,35 ^a	9,81 ^a	9,59 ^a	8,64 ^a	7,49 ^a
DMS	5.1	19.1	5.2	2.6	4.2	3.5
Prob >F	0.040	0.236	0.183	0.023	0.159	0.203

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

*TA. Temperatura ambiente.

5.2.3.2. Cambios de color

Para el caso de color, los resultados obtenidos del análisis de los frutos provenientes de huertos tratados con diferente tipo de fertilización, se muestran en los Cuadros 40 al 43, así como en las Figuras 36 a la 39. En lo referente al matiz (h) (Cuadro 40 y Figura 36) así como la variable a^* (Cuadro 41 y Figura 37), se muestra claramente como el T3 fue el que retuvo por mas tiempo el cambio de color, especialmente marcado al día 10 y 15 del periodo de almacenamiento a 10 °C así como después de 3 días a 20 °C.



*TA. Temperatura ambiente.

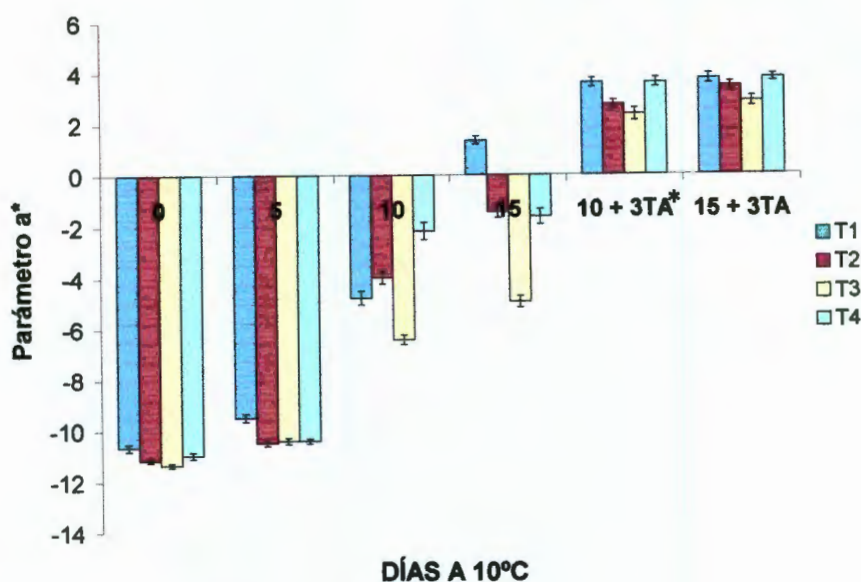
Figura 36. Efecto del tipo de fertilización sobre el matiz de frutos de guayaba.

Cuadro 40. Efecto del tipo de fertilización sobre el matiz en frutos de guayaba

Tratamiento	Días de almacenamiento a 10 °C						
	0	5	10	15	10 + 3TA	15 + 3TA	
T1	105,3 ^b	102,2 ^c	95,2 ^b	88,6 ^c	86,3 ^b	85,9 ^b	
T2	107,4 ^a	104,9 ^a	94,4 ^b	91,6 ^b	87,1 ^{ab}	86,0 ^b	
T3	105,7 ^{ab}	103,7 ^b	96,9 ^a	95,3 ^a	87,6 ^a	86,9 ^a	
T4	106,6 ^{ab}	104,6 ^{ab}	92,4 ^c	91,8 ^b	86,4 ^b	86,1 ^b	
DMS	1.2	1.1	1.5	2.4	1.0	0.7	
Prob >F	0.036	0.044	0.035	0.025	0.040	0.046	

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

*TA. Temperatura ambiente.



*TA. Temperatura ambiente.

Figura 37. Efecto del tipo de fertilización sobre la variable a* de color en frutos de guayaba.

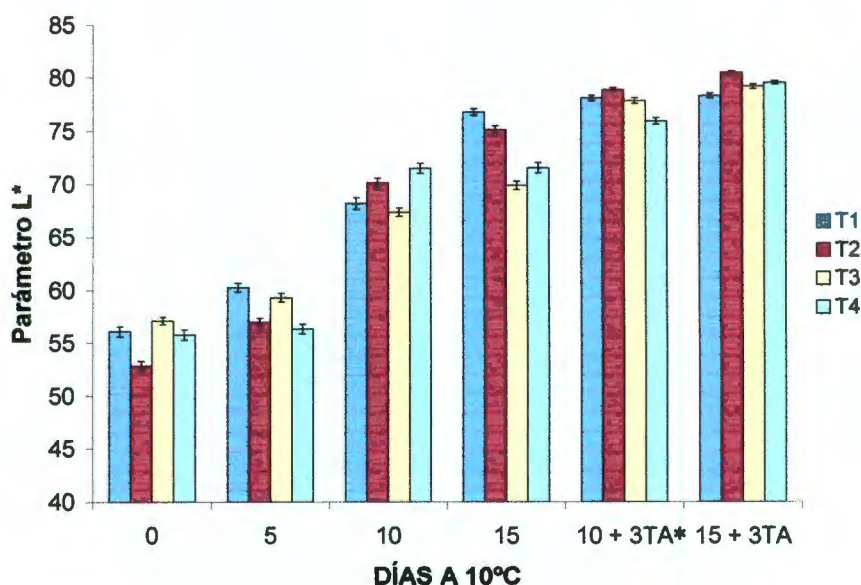
Cuadro 41. Efecto del tipo de fertilización sobre la variable a* de color en frutos de guayaba

Tratamiento	Días de almacenamiento a 10 °C					
	0	5	10	15	10 + 3TA	15 + 3TA
T1	-10,7 ^a	-9,5 ^a	-4,8 ^b	1,4 ^a	3,6 ^a	3,8 ^a
T2	-11,2 ^b	-10,5 ^b	-4,0 ^b	-1,5 ^b	2,8 ^b	3,5 ^{ab}
T3	-11,4 ^b	-10,4 ^b	-6,4 ^c	-4,9 ^c	2,4 ^b	2,9 ^b
T4	-11,0 ^{ab}	-10,4 ^b	-2,2 ^a	-1,6 ^b	3,6 ^a	3,8 ^a
DMS	0.4	0.7	1.4	1.7	0.6	0.7
Prob >F	0.030	0.034	0.048	0.037	0.028	0.046

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

*TA. Temperatura ambiente.

En lo que a la variable L* respecta (Figura 38 y Cuadro 42), nuevamente el T3 fue el que retardó por más tiempo el cambio de color durante el periodo de almacenamiento. Sin embargo, al transferir los frutos a temperatura ambiente, resultó ser el tercero mejor después de los tratamientos T1 y T4.



*TA. Temperatura ambiente.

Figura 38. Efecto del tipo de fertilización sobre la variable L* en frutos de guayaba.

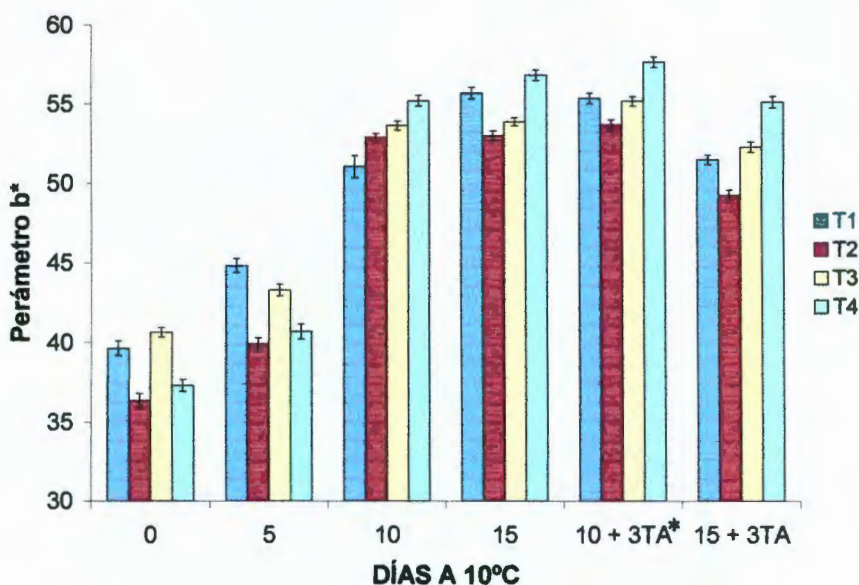
Cuadro 42. Efecto del tipo de fertilización sobre la variable L* de color en frutos de guayaba

Tratamiento	Días de almacenamiento a 10 °C					
	0	5	10	15	10 + 3TA	15 + 3TA
T1	56,1 ^a	60,3 ^a	68,2 ^b	76,8 ^a	78,1 ^a	78,3 ^c
T2	52,8 ^b	57,0 ^{bc}	70,1 ^a	75,1 ^a	78,8 ^a	80,4 ^a
T3	57,1 ^a	59,3 ^{ab}	67,4 ^b	69,9 ^c	77,8 ^a	79,1 ^{bc}
T4	55,8 ^a	56,3 ^c	71,5 ^a	71,5 ^b	75,9 ^b	79,5 ^b
DMS	2.1	2.9	1.7	1.4	1.3	0.8
Prob >F	0.024	0.049	0.018	0.042	0.019	0.044

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

*TA. Temperatura ambiente.

Finalmente, el T2 fue el que de acuerdo a la variable b* (Figura 39 y Cuadro 44) retardo por más tiempo el cambio de color, tanto en el periodo de almacenamiento como a los tres días de transferidos a temperatura ambiente.



*TA. Temperatura ambiente.

Figura 39. Efecto del tipo de fertilización sobre la variable b* de color en frutos de guayaba.

Cuadro 43. Efecto del tipo de fertilización sobre la variable b* de color en frutos de guayaba

Tratamiento	Días de almacenamiento a 10 °C					
	0	5	10	15	10 + 3TA	15 + 3TA
T1	39,7 ^a	44,8 ^a	51,1 ^c	55,7 ^a	55,4 ^b	51,5 ^b
T2	36,4 ^b	39,9 ^b	52,9 ^b	53,0 ^b	53,7 ^c	49,2 ^c
T3	40,6 ^a	43,3 ^a	53,7 ^{ab}	53,9 ^b	55,2 ^b	52,3 ^b
T4	37,3 ^b	40,7 ^b	55,2 ^a	56,8 ^a	57,6 ^a	55,1 ^a
DMS	2.1	2.1	1.6	1.2	1.1	1.0
Prob >F	0.032	0.004	0.028	0.021	0.017	0.026

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey p<0.05).

*TA. Temperatura ambiente.

Hasta el momento no se han reportado resultados de experimentos a cerca de la relación entre el tipo de fertilización y el cambio de color en frutos de guayaba, por lo que no existe un comparativo de los resultados aquí encontrados.

5.2.4. Efecto sobre los factores fisicoquímicos

5.2.4.1. Acidez

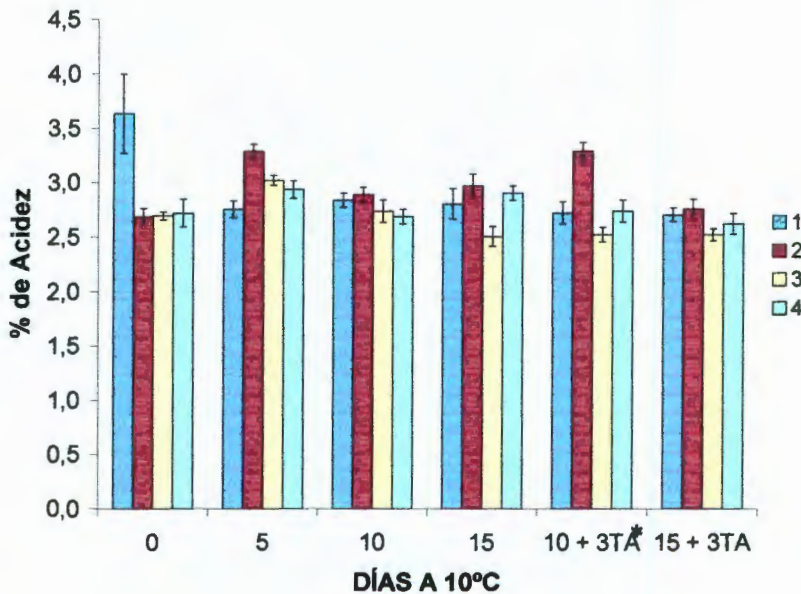
A diferencia del color, tasa de respiración y producción de etileno, la acidez si fue afectada por el tipo de fertilización utilizada en precosecha. Los resultados se muestran en la Figura 40 y en el Cuadro 44.

Cuadro 44. Efecto del tipo de fertilización sobre la acidez (%) en frutos de guayaba

Tratamiento	Días de almacenamiento a 10 °C					
	0	5	10	15	10 + 3TA	15 + 3TA
T1	3,63 ^a	2,75 ^b	2,83 ^a	2,80 ^{ab}	2,72 ^a	2,70 ^a
T2	2,68 ^a	3,28 ^a	2,88 ^a	2,97 ^a	3,28 ^a	2,75 ^a
T3	2,69 ^a	3,02 ^{ab}	2,73 ^a	2,50 ^b	2,52 ^a	2,52 ^a
T4	2,72 ^a	2,93 ^{ab}	2,68 ^a	2,90 ^{ab}	2,73 ^a	2,62 ^a
DMS	1.0	0.45	0.40	0.40	0.95	0.36
Prob >F	0.070	0.031	0.119	0.043	0.337	0.194

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

*TA. Temperatura ambiente.



*TA. Temperatura ambiente.

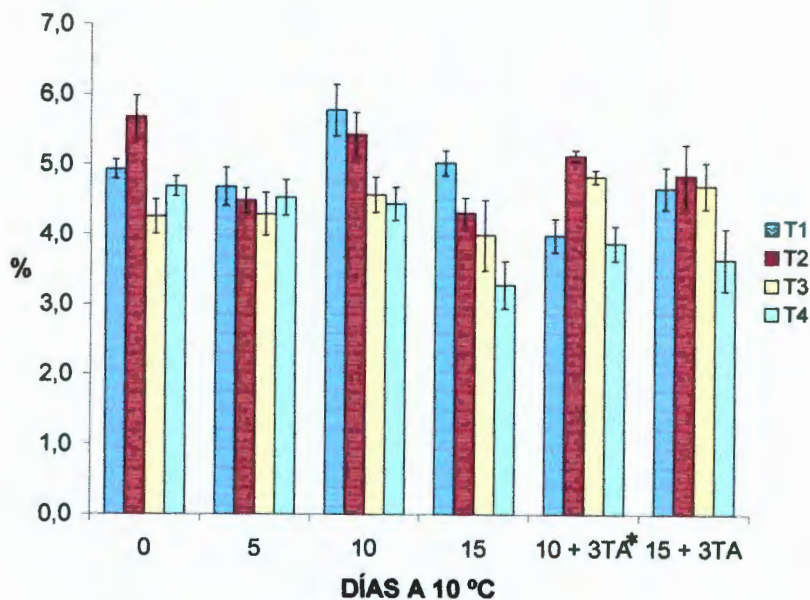
Figura 40. Efecto del tipo de fertilización sobre la acidez en frutos de guayaba.

El tratamiento que menor acidez desarrolló durante el almacenamiento fue el T3. Las principales diferencias entre tratamientos se observaron a los 5 y 15 días de dicho periodo. Después de tres días a partir de su transferencia a 20 °C (TA), no se observó diferencia significativa entre tratamientos con el estadístico empleado.

Gormley y Gollagher (1972) mencionan que el potasio juega un papel importante en la relación azúcar/ácido, en la intensidad de pigmentos y en la firmeza.

5.2.4.2. Azúcares totales

El contenido de azúcares totales en los frutos analizados se muestra en el Cuadro 45 y en la Figura 41.



*TA. Temperatura ambiente.

Figura 41. Efecto del tipo de fertilización sobre los azúcares totales en frutos de guayaba.

Los resultados muestran que el T1 fue el que mejores características confirió al fruto, en cuanto al contenido de azúcares se refiere. Las diferencias mas evidentes entre tratamientos fueron a los 0 y 10 días después de cosechado el

fruto. También existe diferencia significativa a los tres días posteriores a la transferencia a temperatura ambiente (de 10 y 15 días de almacenamiento) de los frutos a temperatura ambiente.

Cuadro 45. Efecto del tipo de fertilización sobre los azúcares totales (%) en frutos de guayaba

Tratamiento	Días de almacenamiento a 10 °C					
	0	5	10	15	10 + 3TA	15 + 3TA
T1	4,93 ^{ab}	4,68 ^{ab}	5,77 ^a	5,02 ^a	3,98 ^a	4,66 ^a
T2	5,68 ^a	4,48 ^{ab}	5,42 ^{ab}	4,30 ^a	5,12 ^{ab}	4,84 ^a
T3	4,25 ^b	4,29 ^b	4,56 ^b	3,99 ^a	4,82 ^{ab}	4,69 ^a
T4	4,69 ^b	4,52 ^{ab}	4,43 ^b	3,28 ^a	3,87 ^b	3,64 ^a
DMS	0.95	0.56	1.10	0.93	1.10	1.31
Prob >F	0.031	0.271	0.042	0.151	0.039	0.325

Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

*TA. Temperatura ambiente.

Cabe destacar que pese a lo señalado anteriormente, no se observó una diferencia contundente entre los tratamientos empleados. Trabajos llevados a cabo en Venezuela, basados en el efecto de la fertilización con N y K y el estado de madurez sobre la calidad de frutos de guayaba, arrojaron valores de textura, índice de madurez, olor, peso del fruto, contenido de sacarosa y azúcares reductores, °Brix, acidez titulable y pH, indicando que los niveles de fertilización no afectaron ninguna de estas variables (Laguado, *et al.*, 1995), lo cual fue corroborado con los resultados obtenidos en este experimento.

En el Cuadro 46 se muestra un resumen de las características de calidad medidas en frutos de guayaba cuyos árboles fueron tratados con diferente tipo de fertilización. Para este cuadro se tomaron en cuenta las tres últimas mediciones, es decir, a los 15 días de almacenamiento a 10 °C y después de 2 y 3 días de transferencia a temperatura ambiente. En el caso de color, sólo se analizó la variable a* por considerarse el de mayor relevancia.

En este Cuadro (46) se puede observar cual es el tratamiento que aparentemente nos da una mejor característica en el fruto de guayaba. Es importante señalar, que a pesar de que de manera general no existieron

diferencias significativas entre tratamientos en la mayor parte de las variables, es posible hacer una evaluación cualitativa para determinar cual fue el más sobresaliente, que en este caso, resultaron ser el tratamiento 3 y el 4.

Cuadro 46. Resumen del efecto del tipo de fertilización sobre las variables de calidad de frutos de guayaba

Tratamiento	Variable				
	Textura	Acidez	Azúcares	Color	Suma
1	4*	2	2	4	12
2	3	4	4	3	14
3	2	1	3	1	7
4	1	3	1	2	7

*1-4. Indica la categorización del tratamiento respecto a la variable analizada, siendo 1 el de mayor aceptabilidad y el 4 del de menor.

Finalmente, necesario señalar que los resultados expuestos en lo referente a este último experimento, fueron recabados en el ciclo inmediato después de realizar los tratamientos con los fertilizantes evaluados, por lo que no ofrecen un panorama completo del potencial que ofrece cada uno de los diferentes tipos de fertilización empleados, ya que para ello sería necesario repetir el experimento en los mismos huertos por lo menos durante 3 años.

6. CONCLUSIONES

El 1-MCP aumentó la vida de anaquel de frutos de guayaba (*Psidium guajava*) cv 'Media China'. Los mejores resultados se obtuvieron con una concentración de 0.6 ppm y 5 horas de exposición. Con este tratamiento se alcanzó un máximo de 25 días de almacenamiento a 10 °C.

El 1-MCP retrasó el cambio de color y permitió una mayor firmeza de los frutos tratados. Al día 25, los frutos tratados con 1-MCP presentaron una textura y color comparables con los presentados por los frutos control al día 7 y 13 respectivamente.

Después de 25 días de almacenamiento, los frutos de guayaba se encontraban aún en condiciones de comercialización aunque era evidente un decremento en la intensidad del aroma característico de la especie. En cuanto a cantidad de azúcares totales y acidez, no se presentaron diferencias significativas entre los frutos tratados y los control.

La aplicación de 1-MCP inhibió la síntesis de la enzima poligalacturonasa, factor que influyó determinadamente en la textura de los frutos de guayaba al ser esta enzima una de las responsables de la degradación de componentes estructurales de la pared celular en vegetales.

La producción de etileno de los frutos tratados con 1-MCP fue menor que la de los frutos testigo. En contraste, la producción de CO₂ resultó mayor en los frutos tratados, principalmente después del máximo climatérico, con lo que se comprueba el comportamiento atípico y poco predecible de la guayaba. Así mismo, se hace patente la necesidad de investigar más a fondo las rutas metabólicas implicadas en el proceso de maduración, con la finalidad de poder ofrecer un mejor panorama del su comportamiento poscosecha..

En el análisis sensorial realizado a los frutos de guayaba tratados con 1-MCP se corroboraron los resultados obtenidos instrumentalmente referentes a los parámetros de calidad de consumo, como lo es la dulzura, la textura, la acidez, el color y el aroma. Además de constatar un menor aroma y sabor en dichos frutos en comparación con los frutos control, se observó una recuperación en los atributos de color y aroma después de ser transferidos a temperatura ambiente, sin llegar a igualar a los niveles de los frutos control.

Por lo que respecta a la aplicación de diferentes tipos de fertilización como factor de pre cosecha que influye en las características de calidad de la guayaba, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en las variables analizadas. Sin embargo, derivado del análisis cualitativo global de las variables evaluadas, se concluyó que los mejores tratamientos resultaron ser el empleo de lombricomposta en la 1ª y 2ª aplicación, así como la fertilización con Triple 17 en la 1ª aplicación y Nitrato de calcio al 45% en la 2ª aplicación.

Es necesario aclarar que estos resultados fueron obtenidos después del primer ciclo de cosecha, por lo que es recomendable diseñar un experimento en el que se amplíe el espacio de observación a por lo menos 10 ciclos, con la finalidad de disminuir el ruido experimental causado por el tipo de manejo previo al que pudieron haber sido sometidos los huertos. No obstante, la recomendación que se puede dar es el empleo de lombricomposta como tratamiento alternativo que permite mejorar las características de calidad en anaquel del fruto, además de incrementar el volumen de producción.

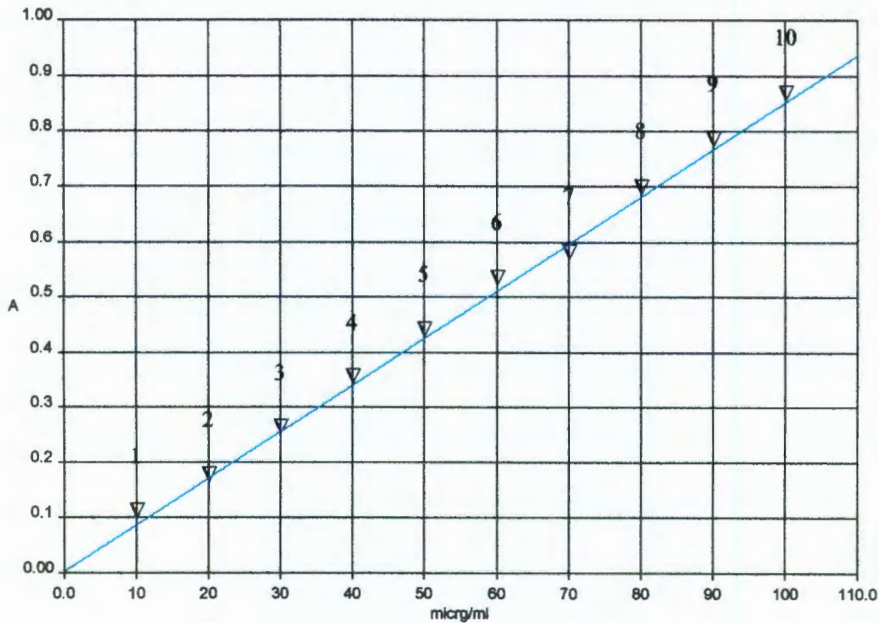
APENDICE I.- CURVA DE CALIBRACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE AZUCARES EN EXTRACTO DE GUAYABA.

CALIBRACIÓN

Date: 18/02/05 Time: 12:12:18 PM
 Instrument: Perkin-Elmer Lambda 40 Serial No: 101N0051203
 Method: GLUCOSA
 Ordinate mode: Single wavelength
 Baseline: No correction (0.00 0.00)
 Analyst:

λ	Sample ID	Concentration	Ord. value
490.0	Glucosa.A01	10.000 micrg/ml	0.0982
490.0	Glucosa.A02	20.000 micrg/ml	0.1647
490.0	Glucosa.A03	30.000 micrg/ml	0.2508
490.0	Glucosa.A04	40.000 micrg/ml	0.3426
490.0	Glucosa.A05	50.000 micrg/ml	0.4293
490.0	Glucosa.A06	60.000 micrg/ml	0.5227
490.0	Glucosa.A07	70.000 micrg/ml	0.5695
490.0	Glucosa.A08	80.000 micrg/ml	0.6867
490.0	Glucosa.A09	90.000 micrg/ml	0.7718
490.0	Glucosa.A10	100.00 micrg/ml	0.8551

Equation: $y = 1.980667e-03 + 8.493933e-03 * x$
 Residual error: 0.011964
 Correlation coefficient: 0.999040



7. BIBLIOGRAFÍA

- Adsule, R.N. and Kadman, S.S. 1995. Handbook of fruit sciences and technology. Production, composition, storage and processing. Guava. Edit. Marcel Decker, Inc. Pp. 14-31.
- AOAC, 1990. Oficial Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15th Ed., Kenneth Helrich Ed. Virginia, USA. Pp.
- Araujo, F.J.I., Quintero, S., Salas, J., Villalobos, J. y Casanova, A. 1997. Crecimiento y acumulación de nutrientes del fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) del tipo "Criolla Roja" en la planicie del Maracaibo. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 14:315-328.
- Argenta, L.C., Krammes, J.G., Megguer, C.A., Amarante, C.V.T., and Mattheis, J. 2003. Ripening and quality of 'Laetitia' plums following harvest and cold storage as affected by inhibition of ethylene action. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 38: 1139-1148.
- Argenta, L.C., Mattheis, J., e Fan, X. 2001. Retardamento da maturacao de macas 'Fuji' pelo tratamento com 1-MCP e manejo da temperatura. (Delaying 'Fuji' apple ripening by 1-MCP treatment and management of storage temperature.) Revista Brasileira 25 (2):24-36.
- ASERCA (Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria). 1997. Estudio del mercado mundial de la guayaba. Pp. 18-21.
- Balderas-Escamilla, M. 2000. Relación de los azúcares y la actividad de la trehalasa con la tolerancia-sensibilidad de mango y guayaba tratados térmicamente. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. Pp. 42-75..
- Barrett, E., Chu, M. S., Paul Ph. D., Gene Ph. D., Dick B. S., Lynn B. S., y Jerry Ph. D., 1998. Manual de Agronomía. Pp. 19-41.
- Bassetto, E. 2002. Conservación de guayabas "Pedro Sato" tratadas con 1-Metilciclopropeno: concentraciones y tiempos de exposición. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Universidad de Sao Pablo, Brasil. Pp. 51-82.
- Benito-Bautista, P. 2002. Daños por frío en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.): respuestas fisiológicas y efecto de las atmósferas controladas sobre la composición de ácidos grasos y actividad fosfolipasa D en membranas microsomales. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro. Qro. Pp. 34-45.
- Biale, J.B. 1960. Respiration of fruits. In handbunch der Pflanzenphysiologie, vol. XII/2 W. Rukland, Springer-Verlag. Berlin Pp. 536-592.
- Boquete, E.J., Trincherro, G.D., Fraschina, A.A., Vilella, F., and Sozzi, G.O. 2004

- Ripening of 'Hayward' kiwifruit treated with 1-methylcyclopropene after cold storage. *Postharvest Biology and Technology* 32: 57-65.
- Borys, M. W. y Alcalde B. S., 1987. Algunas alteraciones nitrimentales en guayabo (*Psidium guajava* L.) *Revista Chapingo* Año 12. No. 56-57 pp 28-52.
- Botrel, N., Freire, J.M., de Vasconcelos, R.M., e Barbosa, H.T.G., 2002. Inibicao do amadurecimento da banana-'Prata-Ana' com a aplicacao do 1-metilciclopropeno. (Inhibition of ripening of 'Prata-Ana' banana by 1-methylcyclopropene.) *Revista Brasileira de Fruticultura* 24: 53-56.
- Bower, J.H., Biasi, W.V., Mitcham, E.J. (2003) Effects of ethylene and 1-MCP on the quality and storage life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology* 28: 417-423.
- Bradford, M.M. 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein Dye Binding. *Analytical Biochem* 72: 248-254
- Bramlage, W., Drake, M., and Lord, W. 1980. The influence of mineral nutrition on the quality and storage performance of pome fruits grown in North America. En: Atkinson, D., Jackson, J.E., Sharples, R.O. y Waller, W.M. (Eds) *Mineral Nutrition of Fruit Trees*. Butterworths, Inc.
- Bready, R. 2001. Use of 1-MCP on Apple. *Perishable Handling Quarterly*, November 2001, (18):12-16.
- Bruno G. Defilippi, Abhaya M. Dandekar, and Adel A. Kader. 2004 Impact of suppression of ethylene action or biosynthesis on flavor metabolites in apple (*Malus domestica* Borkh) *Fruits. J. Agric. Food Chem.* 2004, 52, 5694-5701
- Campbell, C. W. and Malo S. E., 1968. The guava Fruit Crop Facts. Florida Univ. IFAS, Subtropical Exp. Sta. Homestead. Sheet 4.
- Chacín, J., Moreno, M., Fernández, L. y Delvillar A. 1999. Efecto de la fertilización potásica clásica y magnésica sobre el contenido de nutrientes del fruto de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish, clon Gran Enano). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 16 supl. 1:102-113.
- Chan, H.T. and Kwok, S. C. M. 1975. Identification and determination of sugars in some tropical fruit products, *J. Food Sci.* 40: 419-420.
- Christensen, P. 1997. The University of California Cooperative Extension, Tulare County. Publ. #NG6-94.
- Colelli, G., M.T. Sánchez, M.T., and Torralbo, F.J. 2003. Effects of treatment with 1-methylcyclopropene (1-MCP) on tomato. *Alimentaria* 342: 67-70.
- Colinas-Leon y Vázquez-Ochoa. 1990. Changes in guava of three maturity stages in response to temperatura and relative humidity. *HortScience* 25(1):86-87.
- Compo Agricultura, <http://www.compo.es/compo/WebApp?Resource=>

- Conejo-Juárez, L.E. 1998. Cambios en el contenido del ácido ascórbico, alfa-tocoferol, azúcares y fenoles durante el almacenamiento en refrigeración de guayaba (*Psidium guajava* L.) Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. Pp. 16-33.
- Dauny, P.T., Joyce, D.C., and Gamby, C. 2003. 1-methylcyclopropene influx and efflux in 'Cox' apple and 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology* 29: 101-105.
- Delgado, R. y Pulgar, R. 1991. Manejo de la guayaba (*Psidium guajava*) después de la cosecha, factores que lo afectan. Recomendaciones. 4° Congreso Nacional de Fruticultura. Venezuela.
- Dong, L., Lurie, S., and Zhou, H-W. 2002. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of 'Canino' apricots and 'Royal Zee' plums. *Postharvest Biology and Technology* 24: 135-145.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Roberts, P.A. and Smith, F. 1965. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, (28):350-356
- Ekman, J.H., Clayton, M., Biasi, W.V., and Mitcham, E.J. 2004. Interactions between 1-MCP concentration, treatment interval and storage time for 'Bartlett' pears, *Postharvest Biology and Technology* 31:127-136.
- Fan, X., Argenta, L., and Mattheis, J.P. 2002. Interactive effects of 1-MCP and temperature on 'Elberta' peach quality. *HortScience* 37: 134-138.
- Finck, Arnold 1981. Fertilizantes y fertilización, fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos. Edit. Reverte, S.A. Barcelona, Bogota p. 50-51
- García-Velazco, M.A. 1997. Papel del etileno exógeno en la maduración de guayaba (*Psidium guajava* L.) cv. Media China. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.
- Gerasopolous, D. and Richardson, D.G. 1999. Storage temperature and fruit calcium after the sequence of ripening events of d'Anjou'Pears. *HortScience* 34(2):316-318.
- Gerasopolous, D., Chouliaras, V. and Lionakis, S. 1996. Effects of postharvest calcium chloride spray son maturity and storability of Hayward kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology* 7:65-72.
- Gormley, T.R. and Gallagher, P.A., 1972 Potassium Content affects tomato fruit flavour. *Farm Food Res.* (382);52-54.
- Harima, S., Nakano, R., Yamauchi, S., Kitano, Y., Yamamoto, Y., and Inaba, A., Kubo, Y. 2003. Extending shelf-life of astringent persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) fruit by 1-MCP. *Postharvest Biology and Technology* 29:314-319.
- Hofman, P.J., Jobin-Décor, M., Meiburg, G.F., Macnish, A.J., and Joyce, D.C. 2001. Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango

and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41: 567-572.

http://www.secofi-sniim.gob.mx/e_default.asp, consultada en noviembre de 2004

<http://www.compo.es/>, consultado en enero de 2006

Huber, D. 2003, Use of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on Tomato and Avocado Fruits: Potential for Enhanced Shelf Life and Quality Retention. HS-914, one of a series of the Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.

Ikeda, H. and Oswa T., 1982. Effect of potassium and calcium levels and their accompanying anions in the nutrient solution on ammonium toxicity in vegetables crops. *Jpn. Hortic. Sci.* 51(3):309-317

Jacob A. y Von U., 1973. Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. 4ta Edición, Ediciones Euroamericanas. Pp. 22-39.

Jacomino, A. P., 2002. Amadurecimiento e senescencia de mamao com 1-metilciclopropeno. *Scientia Agrícola*, v. 59, n.2. p. 303-308, 2002.

Jacomino, A.P., Kluge, R.A., Brackmann, A., de Camargo e Castro, P.R. 2002. Amadurecimento e senescencia de mamao com 1-metilciclopropeno. (Ripening and senescence of papaya with 1-methylcyclopropene.) *Scientia Agrícola* 59: 303-308.

Kader, A. 2000. Recomendaciones para mantener la calidad poscosecha. Postharvest Technology Research and Information Center. Department of Pomology. U. C. Davis.

Kader, A. 2003. A perspective on postharvest horticulture (1978-2003). *HortScience*. 38(5):1004-1008.

Karakurt, Y., and Huber, D., 2003. Activities of several membrane and cell-wall hydrolases, ethylene biosynthetic enzymes, and cell wall polyuronide degradation during low-temperature storage of intact and fresh-cut papaya (*Carica papaya*) fruit. *Post. Biol. Tech.* 28: 219-229.

Kays, S. J., 1991. Postharvest physiology of perishable plant products. An Avi Book 1st Ed. New York, USA.

Klieber, A., Bagnato, A., Barrett, R., and Sedgley, M. 2003. Effect of post-ripening atmosphere treatments on banana. *Acta Horticulturae*.600: 51-54.

Kluge, R. A., and Jacomino, A. P. 2002. Shelf life of peaches treated with 1-methylcyclopropene. *Scientia Agrícola* 59: 69-72.

Kluge, R.A., Jacomino, A.P., Ojeda, R.M., and Brackmann, A. 2002. Avocado ripening inhibition by 1-methylciclopropeno. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 37: 895-901.

Kluge, R.A., Jacobino, A.P., e Castro, P.R.C., 2000. Control do madurecimento

e senescencia de goiaba vermelha tratada com ethylbloc (1-MCP). In: Congresso Brasileiro de fruticultura, 16., Fortaleza. Resumos. Fortaleza: EMBRAPA, 2000. p 292.

- Laguado, N., O. Briceño, R. Rojo, M. Marín, D. Esparza, L. A. de, Moreno, J. Mora y H. Ferrer. 1995. Efecto de la fertilización y del estado de madurez sobre la calidad de frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). Rev. Fac. Agron. (LUZ) 12(4): 437-449.
- Lalel, H.J.D., Singh, Z., and Tan, S.C. 2003. The role of ethylene in mango fruit aroma volatiles biosynthesis. Journal of Horticultural Science & Biotechnology 78: 485-496.
- Lazan, H. y Ali, A. M. 1998. Guava. En: Shaw P. E., Nagy, S. and Chan, H. T., (Eds). Tropical and Subtropical fruits. Agscience, Inc. 455-485.
- Leverentz, B., Conway, W.S., Janisiewicz, W.J., Saftner, R.A., and Camp, M.J. 2003. Effect of combining MCP treatment, heat treatment, and biocontrol on the reduction of postharvest decay of 'Golden Delicious' apples. Postharvest Biology and Technology 27: 221-233.
- Mata-Beltrán I., y Rodríguez-Mendoza A. 1990. Cultivo y Producción del Guayabo, Editorial Trillas. México. Pp. 10-71.
- Mattheis, J. 2002. Factors Influencing Successful Use of 1-MCP. Washington Tree Fruit Postharvest Conference. Marzo 12 y 13, 2002.
- Mc. Guire, 1992. Reporting of objective measurements. HortSci. 27(2): 1254-1255.
- Mena, T. L., 2000. Manejo integral del cultivo de guayabo. Memoria de residencia profesional. Instituto Tecnológico Agropecuario, Morelia, Michoacán. Pp. 14-30.
- Mengel, K. and Kirkby, E. A., 1978. Principles of plant Nutrition 1. International Potash Institute, Bern, Switerland.
- Menniti, A.M., Gregori, R., and Donati, I. 2004. 1-Methylcyclopropene retards postharvest softening of plums. Postharvest Biology and Technology 31:269-275.
- Mercado-Silva, E., Benito-Bautista, P. and García-Velasco, M. A., 1998. Fruti development, harvest index and ripening of guava produced in central México. Postharvest Biology and Technology 13:143-150.
- Minolta Corporation Manual. 1994. Precise color comunicacion. Minolta Corporation Instrument System Division, Ramsey, N.J. 153
- Moreno M., Fernández, L., Sosa, L. y Nava, J. C. 1999. Efecto del potasio, calcio y magnesio sobre el rendimiento del banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendihs, clon Gran Enano). Rev. Fac. (LUZ), 16 Supl 1:114-123. Venezuela.
- Pantastico, E. B. 1975. Postharvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables. AVI. Publishing Co.

Westport, CT. Pp. 379-380.

- Paull, R. E. and Goo, T. 1983. Relationship of guava fruit detachment force of the stage of fruit development and chemical composition. *HortScience* 18(1):65-67.
- Pelayo, C., de B. Vilas-Boas, E.V., Benichou, M., and Kader, A.A. 2003. Variability in responses of partially ripe bananas to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology* 28: 75-85.
- Poovaliah, B. W. 1986. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. *Food Technol* 40:86-89.
- Regalado-Contreras, L. 1999. Papel de la enzima fosfatidato-fosfatasa y los niveles de antioxidantes naturales en el fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) durante la generación de daños por frío en frutos pretratados hidrotérmicamente. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. Pp. 35-92.
- Retamales, J., 2003. Posibilidades de uso de 1-MCP en manzana y peras. Encuentro regional de productores frutícolas: Curicó, Chile. INIA, Unidad poscosecha de Frutas y Hortalizas. Pp. 26-36.
- Rivas-Araiza, R., 2002. Caracterización de diferentes selecciones de guayaba y su comportamiento bajo diferentes regímenes de conservación y fertilización. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.
- SAGAR, 1999. Centro de Estadística agropecuaria.
- SAGARPA 1998. Producción Agrícola. Perennes. Superficie, Rendimiento, producción, precio medio rural y valor de la producción. Centro de Estadística Agropecuaria. SAGAR. México. 4p.
- SAGARPA, 2004. Reporte diario de Precios al Mayoreo en el Mercado de New York. ASERCA, Dirección general de operaciones financieras, URL: http://www.infoaserc.gov.mx/frutaseu/fi_nyc.asp
- Salunkhe, D. K. y Desai, B.B. 1995. Effect of storage temperatura and ethylene treatment on guava (*Psidium guajava* L.) fruit ripening. *Postharvest Biology and technology*. 6: 357-365.
- Salvador, A., Cuquerella, J., Martínez-Jávega, J.M., Monterde, A., Navarro, P. (2004) 1-MCP preserves the firmness of stored persimmon 'Rojo Brillante'. *Journal of Food Science* 69:69-73.
- USDA (United States Department of Agriculture), 2004. Daily Market News Price Information for Guava at Different Terminal Markets in the United States as Reported by USDA Miami. URL: <http://www.dade.ifas.ufl.edu/.../agdevelopment/Publication%20&%20Announcements/Daily-Guava-Prices-2004.PDF>
- Vinicio-Rosales, A. 2000. El cultivo de la guayaba. Sistema unificado de información institucional –SUNII. Sabana Sur. San José-Costa Rica. Pp.

19-32.

- Wilson, C. V. 1980. Guava, en Nagy and P.E. Show (eds). Tropical and subtropical fruits: composition, properties and uses. AVI. Westport Conn. Pp 279-299.
- Yadava, U.L. 1996. Guava (*Psidium guajava* L.): An Exotic Tree Fruti with Potencial in the Southeastern United Status. HortScience. 31(5) 789-794.
- Zocchi, G. and Mignani, I. 1995. Calcium physiology and metabolism in fruit trees. En Mineral Nutrition of Deciduous Fruit Plants. ISHS Acta Hort. (382).
- Zogg GP, Zak DR, Burton AJ, and Pregitzer KS. 1996. Fine root respiration in northern hardwood forests in relation to temperature and nitrogen availability. Tree Physiol. 1996 Aug;16(8):719-25.
- Zoffoli, 2002. Control de la Acción del Etileno, una Novedosa Alternativa para Prolongar la Conservación de Frutas http://www.puc.cl/agronomia/c_extension/Revista/Ediciones/16/tecnologia2.pdf