



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**



FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGIA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

**EFFECTO DEL METIL JASMONATO Y CLORURO DE CALCIO SOBRE LAS
PROPIEDADES DEL FRUTO DE GUAYABA (*Psidium guajava*) MONITOREADAS
CON ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA

Q.F.B. LESLIE MALLELI BARRIGA TÉLLEZ

DIRECTOR DE TESIS:

D.C. MA. GUADALUPE GARNICA ROMO

Morelia, Michoacán; Agosto del 2010.

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Biotecnología “M. C. Víctor Manuel Rodríguez Alcocer” en la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo bajo la asesoría de la D.C. Ma. Guadalupe Garnica Romo con fruto donado por PROGOMICH.

“Sueña lo que quieras soñar, sé lo que quieras ser, ve a donde quieras ir, porque solo tienes una vida y una oportunidad para hacerlo”

Anónimo

DEDICATORIAS

Con mucho amor para las personas que son mi ejemplo a seguir en la vida, mis padres:

Lidia Téllez Naranjo y Calixto Barriga Corona

Gracias por enseñarme el sentimiento más sublime de la vida el amor, por estar conmigo en cada momento, por reír, llorar y soñar juntos.

Por su apoyo incondicional, por sus consejos de aliento que me motivan a luchar por alcanzar mis sueños y por tantas cosas más; no tengo palabras para decirles lo mucho que los amo.

A mis hermanos: Marco, Itzi e Iri por acompañarme siempre, por su amor, sus consejos, alegría y su confianza; por ser mis cómplices en tantas aventuras.

A mis sobrinos Alexis y Nahomy por darle alegría a mi vida y por enseñarme tantas cosas a pesar de su corta edad y a Mirthe por ser parte de mi familia gracias por tu apoyo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme terminar esta nueva etapa, por dejarme subir un escalón más en la escalera de la vida, por demostrarme su amor infinito a través de las personas que me rodean y por darme fuerza para levantarme después de cada tropiezo.

A mi asesora D.C. Ma. Guadalupe Garnica Romo por darme la oportunidad de realizar este trabajo, por su apoyo y confianza.

A mi comité tutorial por sus aportaciones que enriquecieron mi trabajo.

A la doctora Consuelo de Jesús Cortés Penagos por permitirme realizar el trabajo en el laboratorio de Biotecnología.

A los productores de de PROGOMICH por brindarnos el fruto de estudio.

Al maestro Gabriel Arroyo por prestarnos el equipo de impacto acústico.

A Mina, Nora y Betza por su tiempo para la realización del trabajo.

A mis amigos Ale, Fer y Rube por ser mis amigos de toda una vida, por sus sabios consejos y por darme alientos para seguir adelante, los quiero mucho.

A mis amigas Tere, Rosita, Martha, Celia por su amistad y en especial a Aidee por estar conmigo en tantos momentos.

A Luis y Susa por ser parte de mi familia, por ser como mis hermanos y por compartir tantas cosas juntos los quiero mucho.

A mis compañeros Edith, Susa, Jaime y Lucy por su amistad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág
I. RESUMEN.....	5
II. ABSTRACT	6
III. INTRODUCCIÓN.....	7
IV. ANTECEDENTES	10
4.1 Producción del fruto de guayaba.....	10
4.2 Taxonomía del fruto de guayaba (<i>Psidium guajava</i>)	10
4.3 Descripción del fruto.....	10
4.4 Composición química y nutricional del fruto	11
4.5 Cambios bioquímicos y fisicoquímicos en la maduración del fruto.....	11
4.6 Maduración Sensorial.....	13
4.7 Tratamientos poscosecha	14
4.8 La textura como parámetro de calidad en los frutos.....	16
4.9 Propiedades biomecánicas de los frutos.....	18
V. JUSTIFICACIÓN	20
VI. HIPÓTESIS	21
VII.OBJETIVOS	22
GENERAL	22
ESPECÍFICOS	22
VIII. MATERIALES Y MÉTODOS	23
8.1 Determinación de la concentración de metil jasmonato (MJ)	23
8.2 Determinación de la concentración de cloruro de calcio (CaCl ₂).....	25

8.3 Estudio del fruto de guayaba con inmersiones de cloruro de calcio (CaCl ₂) y metil jasmonato.....	26
Análisis estadístico.....	28
IX. RESULTADOS.....	29
9.1 Determinación de la concentración de metil jasmonato	29
9.1.1 Fruto almacenado a temperatura ambiente (25°C).....	29
9.1.2 Fruto almacenado a 8°C	33
9.2 Estudio del fruto de guayaba con inmersiones de cloruro de calcio (CaCl ₂) y metil jasmonato almacenados a 8°C.....	36
X.CONCLUSIÓN	49
XI. REFERENCIAS.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del modelo de respuesta al impacto acústico.	27
Figura 2. Porcentaje de ° Brix del fruto almacenado a temperatura ambiente	30
Figura 3. Resistencia a la compresión del fruto almacenado a temperatura ambiente .	31
Figura 4. Porcentaje de acidez del fruto almacenado a temperatura ambiente.....	32
Figura 5. Porcentaje de °Brix en el fruto almacenado a 8°C	33
Figura 6. Resistencia a la compresión en el fruto almacenado a 8°C	34
Figura 7. Porcentaje de acidez en el fruto almacenado a 8°C.....	35
Figura 8. Porcentaje de °Brix en el fruto almacenado a 8 °C	37
Figura 9. Resistencia a la compresión en el fruto almacenado a 8°C	38
Figura 10. Índice de refracción en el fruto almacenado a 8°C.....	39
Figura 11. Porcentaje de acidez en el fruto almacenado a 8°C.....	40
Figura 12. Pérdida de peso en el fruto almacenado a 8°C	41
Figura 13. Diámetros de los frutos almacenados a 8°C	42
Figura 14. Ángulo de matiz en el fruto almacenado a 8°C	43
Figura 15. Fuerza máxima en los frutos almacenados a 8°C	44
Figura 16. Módulo de Young calculado a partir de la prueba no destructiva	45
Figura 17. Módulo de Young calculado a partir del impacto acústico.....	46
Figura 18. Esfuerzo de los diferentes lotes de fruto almacenados a 8 °C	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Composición química de la guayaba	11
Cuadro 2. Contenido de sólidos solubles totales, firmeza y porcentaje de acidez en el fruto almacenado a temperatura ambiente	32
Cuadro 3. Contenido de sólidos solubles totales, firmeza y porcentaje de acidez en el fruto almacenado a 8 °C.....	36
Cuadro 4. Contenido de °Brix, resistencia a la compresión, índice de refracción y % acidez en los frutos almacenados con MJ, CaCl ₂ y control.	40
Cuadro 5. Pérdida de peso, diámetro, fuerza máxima, módulo de Young (Prueba destructiva y no destructiva) y esfuerzo en el fruto almacenado a 8 °C.	47

I. RESUMEN

Las propiedades biomecánicas de los productos hortofrutícolas son un aspecto de calidad importante, especialmente en frutas tan delicadas y de corta vida de anaquel como las guayabas (*Psidium guajava*). La determinación de dichas propiedades permite conocer parámetros útiles, como el peso y el tiempo que podrían soportar antes de llegar a sus límites de elasticidad, de deformación plástica o de resistencia a la compresión en sus diferentes estados de madurez, así como el grado de deformación cuando el fruto es sometido a una fuerza, que a su vez indican la resistencia del fruto al daño mecánico y cómo mejorar su manejo postcosecha. Además estas pueden correlacionarse con las propiedades fisicoquímicos para indicar de forma completa el grado de madurez de los frutos. En este trabajo se determinó el módulo de elasticidad del fruto en base a dos ensayos: destructivo y no destructivo y la máxima resistencia que presenta el fruto a ser comprimido. Para realizar el trabajo se aplicaron soluciones de metil jasmonato (MJ) y cloruro de calcio (CaCl_2) para alargar el tiempo de vida de anaquel. Posteriormente el fruto se refrigeró a 8°C y se monitorearon los parámetros de sólidos solubles totales, porcentaje de acidez, textura, índice de refracción, color, respuesta al impulso acústico, pérdida de masa y diámetro ecuatorial para determinar cuál de los dos recubrimientos empleados tiene mayor influencia sobre la calidad del fruto durante el almacenamiento. Con los resultados obtenidos se concluye que la muestra recubierta con CaCl_2 preserva mayor textura en comparación a la muestra recubierta con MJ y la muestra sin recubrimiento, lo cual es debido a que el CaCl_2 forma enlaces entrecruzados con la pectina encontrada en la pared celular transformándose en pectato de calcio del fruto de guayaba aumentando su textura evitándose así la degradación del endocarpio, mesocarpio y pericarpio del fruto y presentado una mejor calidad.

II. ABSTRACT

Biomechanical properties in fruits and vegetables are important aspects of their quality, especially in delicate fruits with a short shelf storage life, such as guava (*Psidium guajava*). The determination of these properties as would render useful parameters, such as the weight and time that the fruits are able to stand before they reach their elasticity limits, their plastic deformation and their resistance to being compression at different stages of maturity. These parameters would also be important to determine the fruit resistance to mechanical damage and to define ways to improve postharvest management. This work based in two tests: destructive a nondestructive, which ones determine the elasticity modulus of fruit such as the maximum resistance that the fruit has to be compressed. To realize the work there were applied two solutions: metil jasmonate (MJ) and calcium chloride (CaCl_2) to enlarge the shelf storage life. Lately the fruit was refrigerated at 8°C and the parameters were monitored, those were: totally soluble solids, acidity percent, texture, index refraction, color, acoustic impulse response, lost of weight and equatorial diameter to determinate which of the two recovers used have more influence on the quality of fruit during the storage. As conclusion, that the simple treated with CaCl_2 keeps a better texture of guava fruits compared with the sample treated with MJ and the untreated sample, which is due to CaCl_2 shapes interlaced links with pectin found at cell wall transforming in calcium pectate of guava fruit enhancing its texture and avoiding the endocarp, mesocarp and pericarp layer degradation of the guava fruit.

III. INTRODUCCIÓN

El estudio de las propiedades mecánicas de los frutos es esencial para encarar el problema de medir su firmeza, un parámetro de vital importancia en la industria agrícola (Abbott, 1999) a pesar de que se conocen técnicas destructivas desde hace ya largo tiempo, recientemente se han propuesto varias técnicas no destructivas, como los métodos acústicos y de ultrasonido, para medir las propiedades mecánicas de los frutos (Aranda *et al.*, 2004). Entre los métodos acústicos, la llamada técnica de impulso acústico, debido a su simplicidad y confiabilidad, se está utilizando para caracterizar el índice de firmeza en varias clases de frutos (Duprat *et al.*, 1997 y Wang *et al.*, 2004). El índice de firmeza es un parámetro importante para asignar un factor de calidad y se define en términos de la masa y la frecuencia de resonancia de las vibraciones inducidas por la fuerza externa. El índice de firmeza está íntimamente relacionado con las propiedades mecánicas del fruto las cuales cambian con respecto al tiempo.

Existen también los métodos destructivos dentro de los cuales se puede mencionar el penetrómetro en el cual la fruta se penetra con una punta hasta deformar la pulpa así como la distancia de penetración y el texturómetro donde la fruta es comprimida por un plato de compresión; ambos tienen una gran demanda en la industria agrícola y son usados para medir el grado de firmeza de los frutos: sin embargo, después de la deformación. La fruta queda dañada permanentemente y no resulta apta para su comercialización (Varela *et al.*, 2005).

En México el problema de control de calidad en productos agrícolas está lejos de ser resuelto. Este es un problema que en muchos casos limita la capacidad de exportación y la ganancia de la industria agrícola mexicana. La determinación de características de calidad, tales como la firmeza y maduración, antes de que los productos sean recolectados, es de gran importancia para el control del tiempo óptimo de cosecha y almacenamiento (Chávez Franco *et al.*, 2000). Por lo anterior en el presente trabajo se propone el uso de los métodos destructivos y no destructivos para conocer las propiedades biomecánicas del fruto de guayaba (*Psidium guajava*) en los diferentes estados de madurez con el fin de obtener parámetros de calidad que

permitan mejorar su manejo poscosecha, así como, la influencia de dos recubrimientos utilizando la técnica de inmersión: Metil jasmonato y Cloruro de calcio en dichas propiedades y su comparación con el fruto control.

IV. ANTECEDENTES

4.1 Producción del fruto de guayaba

La guayaba es un cultivo originario de América Tropical, actualmente se encuentra difundido en todo el mundo, los principales productores son India, Brasil y México (FAO, 2009). SAGARPA (2010) reportó que en el 2009 la superficie con guayaba llegó a 25,227 hectáreas, estimándose una producción anual de 290,283 toneladas.

Las principales zonas productoras de guayaba en México están en huertas de los estados de Michoacán, Aguascalientes y Zacatecas, que en conjunto aportan 92% de la producción nacional. En el estado de Michoacán los principales municipios productores del fruto son Jungapeo, Benito Juárez y Zitácuaro.

4.2 Taxonomía del fruto de guayaba (*Psidium guajava*)

En base a la clasificación y descripción botánica, la guayaba pertenece al reino Vegetal, subreino Fanerógamas, clase Angiospermas, subclase Dicotiledónea, subdivisión Lignosae, orden *Myrtales*, familia *Myrtaceae*, género *Psidium*, especie *guajava*; de donde deriva su nombre científico *Psidium guajava* (Perales de la Cruz *et al.*, 2005 y Padilla *et al.*, 2007).

4.3 Descripción del fruto

El fruto es una baya esférica, globosa, elipsoidal o piriforme; sus dimensiones cambian de una variedad a otra, es averrugado o liso, densamente punteado, brillante con 5 a 12 cm de largo y 5 a 7 cm de ancho, su peso va de 30 a 225 g, en el exterior presenta un color amarillo verdoso y amarillo claro en su plena madurez; en algunos tipos se distingue un tinte ligeramente rosado en el lado expuesto. El color del mesocarpio es variable: puede ser blanco, blanco amarillento, rosado, amarillo, naranja y salmón. El sabor del fruto completamente maduro es dulce a ligeramente ácido; el aroma distintivo varía de fuerte y penetrante a moderado y agradable (Mata y Rodríguez, 2000 y Laguado *et al.*, 1999).

4.4 Composición química y nutricional del fruto

Los frutos de las plantas de *Psidium guajava* tienen un apreciable valor nutritivo, razón por la cual se justifica su consumo. Es un fruto que aporta un alto contenido de vitamina C, vitamina A, vitamina B₃, azúcares (fructosa y glucosa), taninos, fibras (Pectina en mayor concentración) y también posee un alto coeficiente de digestibilidad (Laguado *et al.*, 1999).

Puede presentar un peso entre 60 y 500 g por pieza, un pH ácido entre 3.4-4.2, una concentración de sólidos solubles entre 5-15° Brix y una resistencia a la compresión entre 9-16 lb/pulg².

Cuadro 1: Composición química de la guayaba

Nutriente	Unidades/100g de porción comestible
Calorías	36-50 kcal
Humedad	77-86 %
Fibra	8.15 %
Proteína	0.9 -1.0 g
Grasa	0.1- 0.5 g
Ceniza	0.43 -0.7 g
Carbohidratos	9.5 – 10 g
Calcio	9.1 – 17 mg
Fósforo	17.8 – 30 mg
Hierro	0.9 mg
Vitamina A	200- 400 I. U.
Tiamina	0.046 mg
Riboflavina	0.03- 0.04 mg
Niacina	0.6 – 1.068
Vitamina B3	40 U.I.

Fuente: Morales *et al.*, 2007

4.5 Cambios bioquímicos y fisicoquímicos en la maduración del fruto

El ciclo de crecimiento y desarrollo del fruto para alcanzar su madurez fisiológica requiere de aproximadamente 150 días a partir de la fecha de floración, aunque se

requieren más días en las estaciones frías que en las estaciones con temperaturas mayores; es decir, que las temperaturas más frías retardan el crecimiento de la fruta y por lo tanto su metabolismo (Mercado *et al.*, 1998).

Durante el proceso de desarrollo y maduración del fruto de guayaba muchos cambios bioquímicos y fisicoquímicos se llevan a cabo; su peso y volumen aumentan considerablemente a partir de los primeros 50 días y hasta los 100 días. El color del fruto permanece verde hasta la madurez fisiológica; también el ablandamiento de este se ve reflejado después de aproximadamente 115 días posteriores a la antesis (Regalado, 1999).

Su contenido de azúcares aumenta durante el desarrollo, como en el caso de la fructosa que se incrementa rápidamente, mientras que el aumento de la glucosa es lento. El contenido de pectina en la guayaba disminuye durante el transcurso de la maduración al igual que la acidez, mientras que el ácido ascórbico aumenta durante el proceso de desarrollo (Marín-Larreal, 2004).

En el caso de las enzimas, la actividad de la invertasa empieza a desarrollarse durante la maduración y alcanza su máximo nivel en la madurez completa presentando su máxima actividad en un rango de pH de 3.5 a 4.0. La amilasa, empieza a incrementarse conforme el fruto madura y también alcanza su máximo valor cuando se ha completado su madurez. El incremento de actividad de la enzima causa un rompimiento de los carbohidratos almacenados, que se convierten en sustancias azucaradas que sirven como fuente precursora para la síntesis de sacarosa en la madurez completa (Laguado y Marín, 2004).

La actividad de la polifenoloxidasas (PPO) se incrementa con la maduración. Dicha actividad no se remarca en estados de inmadurez ni en la madurez fisiológica, pero sí se incrementa en la madurez de consumo mientras que la pectinesterasa (PE) se presenta más alta en frutos maduros, es decir, esta enzima va disminuyendo al incrementar la maduración (Mata y Rodríguez, 2000 y Nisha Jain *et al.*, 2001).

La guayaba, pertenece al grupo de frutos climatéricos, es decir, que pueden cosecharse cuando han alcanzado su pleno desarrollo (madurez fisiológica) pero no han empezado a madurar. Su velocidad de respiración aumenta (climaterio) y disminuye gradualmente (Pal *et al.*, 2007 y Regalado, 1999).

4.6 Maduración Sensorial

Es un proceso por el que los frutos adquieren características sensoriales (color, aroma, sabor, textura, etc.) que los definen como comestibles, proceso que generalmente comienza durante las etapas finales de la maduración fisiológica.

Durante dicho proceso tienen lugar una serie de cambios físicos, bioquímicos y fisiológicos determinantes de la calidad y vida poscosecha del fruto, como son: cambios de color, cambios en la producción de proteínas y azúcares, producción de aromas y cambios en los compuestos volátiles. Todos estos asociados a un transitorio pico respiratorio y vinculado estrechamente a la producción autocatalítica del etileno (Reyes y Paull, 1995).

Existen algunos índices químicos que se utilizan para analizar el grado de madurez del fruto como: acidez, Sólidos Solubles Totales y contenido de ácido ascórbico. En cultivares destinados a la producción de frutos para consumo en fresco se recomiendan Sólidos Solubles Totales mayores a 12° Brix como índices de madurez; mientras que para un cultivar destinado a la industria, se recomiendan 6° Brix (Mata y Rodríguez, 2000 y Marín-Larreal, 2004).

De acuerdo al grado de coloración externa del fruto se presentan los siguientes tres estados de maduración:

Verde. En esta etapa, el fruto está en proceso de terminar con el crecimiento y alcanza su tamaño máximo. A este fruto se le conoce como fruto verde.

Rayado. El color amarillo empieza a notarse en la superficie del fruto, pero no más alto del 50% de su superficie. La firmeza disminuye ligeramente, en comparación a

la etapa anterior. El fruto está en proceso de alcanzar las características de color, sabor, textura, y aroma para poder ser consumido.

Amarillo. El aspecto del fruto es de un amarillo brillante, la firmeza es menor, que en las dos etapas anteriores. El fruto expresa las características típicas de la especie y alcanzado totalmente todas las características de calidad necesarias para ser consumido (Cisneros-Valdéz, 2004).

De esta manera el fruto cosechado obtendrá valores aceptables en los cinco principales componentes de calidad general, que complementan los datos visibles en campo:

- Apariencia donde se contempla el tamaño, forma, color, brillantez y presencia de defectos externos e internos causados por aspectos físicos, fisiológicos y/o fitosanitarios.
- Textura en la cual se incluye la firmeza, succulencia y jugosidad.
- Sabor, este aspecto incluye dureza, acidez, astringencia, amargura y aroma.
- Nutricional, incluye el contenido de carbohidratos, proteínas, vitaminas y aroma.
- Inocuidad, principalmente lo que se refiere a la presencia de tóxicos naturalmente presentes, contaminación química y microbiana (Norma del Codex para la guayaba, 2005).

4.7 Tratamientos poscosecha

La refrigeración es una práctica poscosecha que se utiliza para la conservación del fruto retardando las reacciones químicas que se pueden producir en el alimento, retrasa la acción enzimática e inhibe el crecimiento y actividad de los microorganismos existentes en el alimento. En las cámaras frigoríficas los diferentes compartimentos permiten grados de humedad relativa que, junto con la temperatura óptima para cada alimento, logran una mejor conservación. La refrigeración retrasa el crecimiento

bacteriano pero no lo impide, por lo que este sistema es adecuado para mantener los alimentos en buen estado durante un tiempo limitado. En el caso del fruto de guayaba temperaturas de 8.3 a 10 °C con un 85-90% de humedad relativa prolongan la vida del fruto almacenado hasta por dos semanas (López Enríquez y Mercado Silva, 2005 y Mata y Rodríguez, 2000).

Existen algunos tratamientos poscosecha que se utilizan en el fruto para alargar su vida de anaquel tales como las emulsiones con cera al 3% que prolongan la vida del fruto durante ocho días a temperatura ambiente (22.2 a 30 °C) y 21 días a temperaturas bajas (8.3-10°C) (Basseto *et al.*, 2004). En el caso de este fruto también se utilizan las inmersiones en cloruro de calcio al 1% lo cual alarga la vida de anaquel del fruto hasta nueve días cuando es almacenado a temperatura ambiente y por cuatro semanas cuando se almacena a 8 °C ya que previene el ablandamiento y senescencia del fruto, ya que se producen pectatos de calcio que incrementan la rigidez de la pared celular, haciendo el tejido más resistente tanto a los agentes físicos como a los enzimáticos (Pereyra *et al.*, 2007). El calcio está considerado como el principal responsable de la formación de la lámina media, estructura y permeabilidad de la pared celular, así como también de la elongación y división celular. Se utiliza en forma de cloruro debido a que los enlaces iónicos necesitan menos energía para dissociarse y por lo tanto es más fácil para la célula vegetal captar el mineral (Sato *et al.*, 2006). Al estar presente el calcio los polímeros pécticos de la pared celular y la lámina media de los frutos son capaces de formar geles, participando en el entrecruzamiento de los pectatos actuando como un agente intermolecular de unión que estabiliza los complejos pectina-proteína de la lámina media (Fallahi *et al.*, 1997).

En frutos como el jitomate se ha utilizado inmersiones en metil jasmonato en una concentración de 220 µL/L ya que se ha observado que este compuesto induce diferentes mecanismos de defensa en contra del stress en tejidos vegetales (González-Aguilar *et al.*, 2003). Recientemente, se ha observado que el tratamiento con metil jasmonato reduce el deterioro y daño por frío de diferentes frutos, que puede incrementar la síntesis del etileno y consecuentemente la maduración (Baltazar *et al.*,

2006). A nivel bioquímico, la disminución en los síntomas de daño por frío en frutos tratados con MJ, se ha relacionado con el incremento de poliaminas y ácido abscísico (Wang y Buta, 1994) e inducción de proteínas de choque térmico (Ding *et al.*, 2001), mientras que la mayor resistencia al ataque de patógenos se ha relacionado con la inducción de proteínas relacionadas con la patogénesis (Ding *et al.*, 2002) y con un aumento en la actividad de la fenilalanina amino-liasa (González-Aguilar *et al.*, 2004).

4.8 La textura como parámetro de calidad en los frutos

La textura es un parámetro cualitativo complejo y variable de gran importancia en la valoración de las frutas y hortalizas de consumo en fresco. Diferentes factores, como el estado del agua, las propiedades físicas de las paredes de las células y la estructura de los tejidos, actúan conjuntamente para determinar la resistencia, firmeza y elasticidad, características que, junto con otras conforman la textura. La importancia de este atributo ha conducido a numerosos grupos de investigadores a desarrollar ensayos destructivos y no destructivos para determinar objetivamente parámetros de caracterización de textura (Diezma y Ruiz-Altisent, 2004).

Con el fin de obtener parámetros que permitan conocer el grado de madurez del fruto y por lo tanto su vida de almacenamiento se han desarrollado diversas técnicas para la medida de las propiedades mecánicas (firmeza) de los frutos y ello permite a su vez establecer métodos de clasificación de los productos en función de sus factores de calidad. Desde la década de los años sesentas, para intentar correlacionar las características dinámicas con la calidad interna de los productos en estudio, se han propuesto técnicas y dispositivos basados en la respuesta acústica al impacto o en las vibraciones forzadas. Se han estudiado diferentes coeficientes de firmeza, como:

$$f^2 m^{2/3} \text{ y } f^2 m$$

Siendo f la frecuencia natural según la fruta ensayada, y m la masa de la misma (Diezma y Ruiz-Altisent, 2004).

Tradicionalmente se ha empleado la práctica de golpear algunas frutas y hortalizas y atender al sonido que se produce para tener una idea de su estado de madurez. Tratando de simular esta práctica algunos autores han desarrollado dispositivos basados en la llamada técnica de impulso acústico o respuesta al impacto acústico, en los que la excitación de la muestra se produce cuando ésta es golpeada de forma controlada por un cuerpo impactante. Otros autores excitan la muestra mediante técnicas de vibración forzada en las cuales la muestra es excitada sometiéndola a vibraciones de frecuencias determinadas (Tu y Baerdemaeker, 1997).

La respuesta al impacto acústico es un método que ha sido estudiado por diversos investigadores (Abbott *et al.*, 1968; Galili y *et al.*, 1998) en la medición de la firmeza en frutas y vegetales. En este método, la fruta es golpeada por un péndulo, y la señal de respuesta es capturada usando un micrófono y/o un sensor fílmico. El índice de firmeza es calculado por medio de la señal de respuesta. Las mediciones de frecuencia de resonancia y su relación con las propiedades elásticas del fruto a través de un acelerómetro pueden determinar la firmeza del fruto y el grado de madurez del mismo lo cual puede ser expresado mediante la siguiente ecuación:

$$S_c = f^2 m^{2/3}$$

Donde:

S_c .- Coeficiente de firmeza

f .- Frecuencia dominante

m .- masa del fruto (forma esférica)

Con la fórmula anterior podemos obtener el módulo de Young utilizando la siguiente ecuación:

$$Y = S_c \rho^{1/3},$$

Donde:

ρ = densidad del fruto

4.9 Propiedades biomecánicas de los frutos

En la medición de las propiedades mecánicas se emplean comúnmente diversas técnicas de ensayo, así por ejemplo, las propiedades elásticas de las frutas y vegetales pueden ser estimadas a través de una simple prueba de penetración o compresión acoplada a un texturometro donde se obtienen las curvas de fuerza contra distancia para calcular parámetros mecánicos tales como: fuerza o esfuerzo de penetración ó compresión (Anzaldúa-Morales y Bourne, 1992; Moreira *et al.*, 1999, Álvarez *et al.*, 2000) utilizando la siguientes ecuaciones:

$$\sigma = \frac{4F}{\pi d^2},$$

$$\varepsilon = \frac{d_i - d_f}{d_i}$$

Donde:

σ es el esfuerzo que presenta el fruto a la compresión

ε es la deformación del fruto donde d_i es el diámetro ecuatorial sin deformación y d_f es el diámetro deformado.

Las pruebas de compresión uniaxial han sido también ampliamente utilizadas. En estos casos se obtienen los datos de esfuerzo vs. Deformación y se pueden calcular: el esfuerzo máximo de ruptura, el módulo de deformabilidad, energía de ruptura y otros parámetros (Álvarez y Canet, 1998).

Por otra parte, las propiedades viscoelásticas pueden evaluarse a través de las pruebas de relajación de esfuerzos y en ellas el material se somete a una deformación instantánea y se observa la variación del esfuerzo en función del tiempo. El modelo generalizado de Maxwell ha sido el más utilizado para describir el comportamiento viscoelástico de los alimentos, en otros casos se han utilizado combinación de modelos

para explicar la estructura de estos materiales como ha sido el trabajo realizado por Álvares y Canet (1998) para papas frescas, las cuales finalmente sugieren que el módulo elástico instantáneo puede estar relacionado con la presión interna de las celdas de los tejidos vegetales. Peleg (1979), han interpretado la relación esfuerzo-deformación durante la compresión de alimentos sólidos y explican que existen dos mecanismos antagónicos que regulan los niveles de esfuerzos. Estos son las fracturas internas que tienden a disminuir la fortaleza mecánica y la compactación que tiene la tendencia a incrementarla.

Utilizando la prueba destructiva de resistencia a la compresión mencionada anteriormente se puede obtener la fuerza máxima de resistencia (F) que ejerce el fruto a la compresión, para calcular el módulo de Young (Y) a través en la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Con la cual se puede caracterizar el comportamiento reológico de los alimentos en base a sus propiedades biomecánicas.

V. JUSTIFICACIÓN

El control de calidad de los productos agrícolas está moviéndose hacia una nueva era en donde la eficacia y la flexibilidad son parte esencial de la producción. Los métodos tradicionales de control de calidad están basados mayormente en pruebas sensoriales. En la mayoría de los casos estas pruebas, además de ser ineficientes en términos de pérdida de tiempo y trabajo, arrojan resultados para los cuales el grado de exactitud no puede ser garantizado. En México, el problema del control de calidad en productos agrícolas está lejos de ser resuelto, lo que en muchos casos limita la capacidad de exportación y la ganancia de la industria agrícola mexicana. La determinación de características de calidad tales como la firmeza y la maduración, antes de que los productos sean pre y poscosechados, son de gran importancia para controlar el tiempo correcto de cosecha y tiempo de almacenamiento, debido a esto, se pueden utilizar ensayos destructivos y no destructivos que permitan determinar el grado de madurez y firmeza de un fruto. Aunado a lo anterior los frutos presentan otro problema importante, al ser perecederos cuentan con un tiempo de vida de anaquel corto limitando la comercialización del producto, por lo cual, es importante tomar en consideración diversas alternativas tal como el uso de compuestos que agregados a estos puedan prolongar su vida de anaquel disminuyendo pérdidas en el sector agrícola debido a la sobremaduración de los frutos.

VI. HIPÓTESIS

Los ensayos de respuesta al impacto acústico para medir la firmeza de la fruta estudiados en conjunto con los ensayos físico-químicos del fruto pueden correlacionarse con su grado de maduración, así como también, que alguno de los dos recubrimientos utilizados cloruro de calcio y metil jasmonato sea el que tenga una mejor respuesta en el fruto de guayaba para prolongar su tiempo de vida de anaquel.

VII.OBJETIVOS

GENERAL

Estudiar el efecto del metil jasmonato y cloruro de calcio sobre las propiedades fisicoquímicas del fruto de guayaba (*Psidium guajava*) monitoreadas con ensayos destructivos y no destructivos.

ESPECÍFICOS

- I. Caracterización físicoquímica del fruto en estudio.

- II. Realizar pruebas destructivas (Sólidos solubles totales, porcentaje de acidez, índice de refracción y resistencia a la fuerza de compresión) y no destructivas (Prueba de impulso acústico, color, pérdida de masa y disminución del diámetro ecuatorial) como mediciones de control de calidad del fruto en almacenamiento con dos recubrimientos cloruro de calcio y metil jasmonato.

- III. Identificar el recubrimiento con mayor influencia sobre la calidad del fruto almacenado.

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se realizó el análisis de la vida de anaquel del fruto de guayaba utilizando dos sistemas de inmersión cloruro de calcio (CaCl_2) y metil jasmonato (MJ), y un lote control. Se procedió a determinar a qué concentración se tenía que emerger el fruto de guayaba con MJ y CaCl_2 . Una vez determinado se hicieron tres lotes que denominamos MJ, CaCl_2 y un control. Dichos lotes se colocaron en una cámara frigorífica y se monitorearon cada 4 días realizándoles pruebas destructivas (Sólidos solubles totales, porcentaje de acidez, índice de refracción y resistencia a la fuerza de compresión) y no destructivas (Prueba de impulso acústico, color, pérdida de masa y disminución del diámetro ecuatorial). Posteriormente los resultados obtenidos fueron analizados por métodos estadísticos para obtener su desviación estándar.

8.1 Determinación de la concentración de metil jasmonato (MJ)

Para determinar la concentración de metil jasmonato se procedió de la siguiente manera: se adquirió fruto en estado verde de maduración procedente del municipio de Nuevo Urecho, Michoacán; con un diámetro externo de 4 a 5 cm y libre de daños mecánicos, se dividió en dos lotes iguales. De cada lote se hicieron 4 sublotes (48 frutos por sublote), el sublote 1 fue el control, al sublote 2 se le aplicó 160 $\mu\text{L/L}$ de MJ, al sublote 3 se le aplicó 220 $\mu\text{L/L}$ de MJ y al sublote 4 se le aplicó 280 $\mu\text{L/L}$ de MJ por inmersión en solución acuosa durante 15 minutos. Posteriormente, un lote se almacenó en una cámara frigorífica marca Mabe (modelo RM87WB01) a una temperatura de 8° C y una Humedad Relativa de 80-85 % con tiempos de almacenamiento de 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 y 28 días. El otro lote se almacenó a 25°C con tiempos de almacenamiento de 0, 4 y 8 días.

Posteriormente, para evaluar el estado de madurez del fruto al transcurrir el tiempo de almacenamiento a ambas temperaturas los frutos fueron monitoreados con

ensayos fisicoquímicos (Sólidos solubles totales, porcentaje de acidez y resistencia a la fuerza de compresión).

La determinación de sólidos solubles totales se realizó en seis frutos por cada tiempo de almacenamiento utilizando un refractómetro portátil ATAGO (Rango 0-32 °Bx) con el que se midió el contenido de sólidos solubles a través del índice de refracción. Para la obtención de la muestra, los frutos se picaron para facilitar la extracción del zumo. El fruto picado en trozos se procesó en un extractor Turmix (Modelo 120306). Una vez obtenido el zumo se colocaron dos gotas sobre el prisma y se cubrió con la tapa, distribuyéndose uniformemente la muestra sobre la superficie del prisma. Orientando el aparato hacia una fuente de luz, se observó a través del campo visual donde se leyó el número correspondiente a la escala que indicó el porcentaje de sólidos solubles totales (°Bx) de la muestra.

La determinación de firmeza se realizó a través de la resistencia a la compresión, en seis frutos por tiempo de almacenamiento, utilizando un Analizador de Textura (Texture Analyzer modelo TA-XT2t). Para realizar esta determinación el fruto se colocó en el texturómetro haciendo incidir en él un plato de compresión de 75 mm a una distancia de compresión de 5 mm y una velocidad de desplazamiento de 1.0 mm/s. El valor de firmeza se expresó en gramos.

La determinación de porcentaje de acidez se realizó a seis frutos por tiempo de almacenamiento mediante titulación con NaOH (0.1 N). Para la obtención de la muestra, los frutos se picaron para obtener el zumo. El fruto picado en trozos se procesó en un extractor Turmix (modelo 120306). Una vez obtenido el zumo se tomaron seis alícuotas de 5 g pesado en una balanza analítica marca Sartorius. En seguida, se diluyó con agua destilada a un volumen de 50 ml, se valoró con la solución de NaOH hasta alcanzar un viraje en el color de la solución para lo cual se utilizó como indicador fenolftaleína en solución alcohólica. La acidez se reportó como porcentaje de ácido cítrico, mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Acido Citrico} = \frac{VN_{\text{NaOH}}M_{\text{eq.acido}}}{P_m} \times 100$$

Donde:

V= Volumen empleado de NaOH en ml

N_{NaOH} = Normalidad de NaOH

$M_{\text{eq. de Acido citrico}}$ = 0.07003

P_m = Peso de la muestra en g

8.2 Determinación de la concentración de cloruro de calcio (CaCl_2)

Para realizar este estudio se adquirió fruto en estado verde de maduración del mercado de abastos de la ciudad de Morelia, Michoacán; con un diámetro externo de 5 a 6 cm y libre de daños mecánicos y se dividió en tres lotes iguales. Cada lote constó de 40 frutos, al primer lote se le aplicó una inmersión acuosa de CaCl_2 al 1%, al segundo lote se le aplicó una inmersión acuosa de 5% y el tercer lote fue el lote control. Cada uno de los dos lotes con CaCl_2 fue dividido en cuatro sublotes de 10 frutos, cada uno de los sublotes fue expuesto a los siguientes tiempos de inmersión 30, 60, 90 y 180 min.

La determinación de firmeza se realizó a través de la resistencia a la compresión, en seis frutos por tiempo de almacenamiento, utilizando un Analizador de Textura (Texture Analyzer modelo TA-XT2t). Para realizar esta determinación el fruto se colocó en el texturómetro haciendo incidir en él un plato de compresión de 75 mm a una distancia de compresión de 5 mm y una velocidad de desplazamiento de 1.0 mm/s. El valor de firmeza se expresó en gramos.

La cantidad de calcio se cuantificó a partir de las cenizas del fruto con una solución de EDTA 0.01 N valorada con CaCO_3 en una concentración conocida.

Con los resultados obtenidos se concluyó que el tratamiento mediante la inmersión en solución acuosa de frutos de guayaba durante 120 min en solución de cloruro de calcio al 1% es óptimo para que los frutos muestren una mayor firmeza que el fruto control (Urrueta Parra, 2004).

8.3 Estudio del fruto de guayaba con inmersiones de cloruro de calcio (CaCl_2) y metil jasmonato

Para realizar este estudio se adquirió fruto en estado verde de maduración procedente del municipio de Benito Juárez, Michoacán; con un diámetro externo de 5 a 6 cm y libre de daños mecánicos y se dividió en tres lotes iguales. Cada lote constó de 200 frutos, al primer lote se le aplicó 220 $\mu\text{L/L}$ de MJ por inmersión en solución acuosa durante 15 min., al segundo lote se le aplicó CaCl_2 1% por inmersión en solución acuosa por 2 hr y el tercer lote fue el control. Los tres lotes se almacenaron en una cámara frigorífica marca Mabe (modelo RM87WB01) a una temperatura de 8° C y una Humedad Relativa de 80-85 % con tiempos de almacenamiento de 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 y 28 días. Cada muestra que se utilizó por día de almacenamiento consto de 16 frutos por lote.

Los frutos fueron monitoreados con ensayos destructivos y no destructivos para evaluar el estado de madurez del fruto al transcurrir el tiempo de almacenamiento a ambas temperaturas. Dentro de los ensayos destructivos se realizó la determinación de textura mediante la resistencia de la fuerza a la compresión del fruto, así como también las propiedades físicoquímicas (sólidos solubles totales, índice de refracción y porcentaje de acidez titulable). Los ensayos no destructivos que se utilizaron fueron color y respuesta al impacto acústico.

Las determinaciones de sólidos solubles totales, firmeza y el porcentaje de acidez se tomaron de igual manera que en el apartado anterior.

El diámetro ecuatorial se midió en la superficie del fruto de guayaba con un Vernier marca Pretul con una escala de 10 a 20 cm.

La pérdida de masa de cada fruto de guayaba se determinó con una balanza analítica marca Sartorius tomando el peso en gramos.

El índice de refracción se realizó utilizando un refractómetro ABBE (Rango) en el cual se colocaron dos gotas de zumo sobre el prisma y se cubrió con la tapa, distribuyéndose uniformemente la muestra sobre la superficie del prisma, se observó a través del campo visual donde se leyó el número correspondiente a la escala que indicó el índice de refracción.

Las mediciones de color se desarrollaron en un colorímetro marca Ocean Optics, para calcular los valores del espacio de color L^* , a^+ y b^+ recomendado por CIE (1986).

La prueba de impacto acústico se llevó a cabo como se muestra en la figura 1

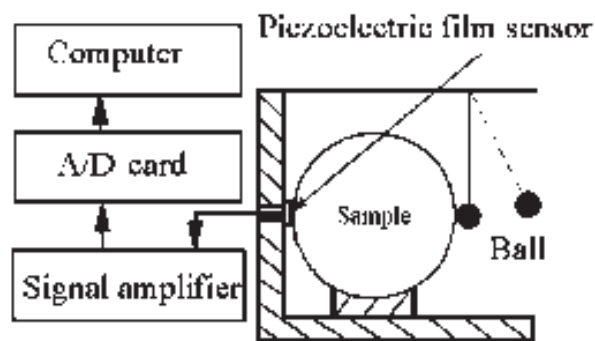


Figura 1. Diagrama del modelo de respuesta al impacto acústico.

El impacto se produjo con un bola rígida de plástico (2.46 cm y 7.1 g de masa) suspendida en un hilo, formando un péndulo normal (19.33 cm de longitud) e impactando, desde un ángulo de 15 grados con respecto a la vertical (medido con la ayuda de un transportador), en el plano ecuatorial del fruto de guayaba. Se utilizó una base mecánica para soportar la estructura del péndulo y el transportador y así posicionar adecuadamente la masa de impacto a la altura del plano ecuatorial de la fruta. Estos valores se eligieron, después de varias pruebas, para no tener ningún daño a la fruta y capturar una buena señal con un sensor de sonido colocado en el lado opuesto al impacto. La señal se captó con un acelerómetro transformándose a través de una FFT (Transformada rápida de Fourier) transfiriéndose la información para ser analizada por una computadora personal mediante el programa DataStudio de la compañía Pasco. La señal se registró a una razón de 5000 muestras por segundo durante 50 milivoltios Posteriormente los resultados se relacionaron con la ecuación del módulo de Young para obtener como respuesta como respuesta el índice de firmeza.

Análisis estadístico

Se realizó una comparación de medias mediante pruebas de rango múltiple de Tukey ($P < 0.05$) utilizando el paquete operacional JMP (versión 2005). También se aplicó un modelo matemático para analizar los resultados de las pruebas destructivas y no destructivas y así poder correlacionarlas (Toutenburg, 2002; Kueshl, 1999) utilizando la siguiente ecuación:

$$q = \frac{X_A - X_B}{ES} \text{ calculado para } \alpha = 0.05$$

donde:

q= error estadístico para cada diferencia a probar

X_A y X_B = Son las medias (promedio de las muestras) a comparar

ES= Error estándar, y:

$$ES = \sqrt{\frac{CME}{n}}$$

donde:

CME= Cuadrado medio del error

n= número de muestras (ó repeticiones)

IX. RESULTADOS

9.1 Determinación de la concentración de metil jasmonato

9.1.1 Fruto almacenado a temperatura ambiente (25°C)

El porcentaje de sólidos solubles totales en las muestras mantenidas a 25°C se incremento de forma notable durante el periodo de almacenamiento desde 8.42°Brix hasta 11.58° Brix tratado con MJ a 220 µL/L, para el fruto con una concentración de MJ 160 µL/L fue 9.92 °Brix a 11.25°Brix; mientras que para el fruto con una concentración de 280 µL/L fue de 9.67 °Brix, para el día 4 fue de 10.25 °Brix y para el día 8 fue de 10.5°Brix. En el fruto control el incremento fue de 9.03°Brix a 9.05°Brix (Figura 2). El incremento en el contenido de los sólidos solubles totales se puede atribuir a la conversión del almidón a azúcares solubles y a la ruptura de la hemicelulosa y pectinas (Chen and Huber 1996,1997). Un incremento similar en los sólidos solubles totales ha sido reportado in la maduración del mango (Pandey *et al*, 1998), tomate (Singh *et al*, 2000) y plátano (Mustaffa *et al*, 1998).

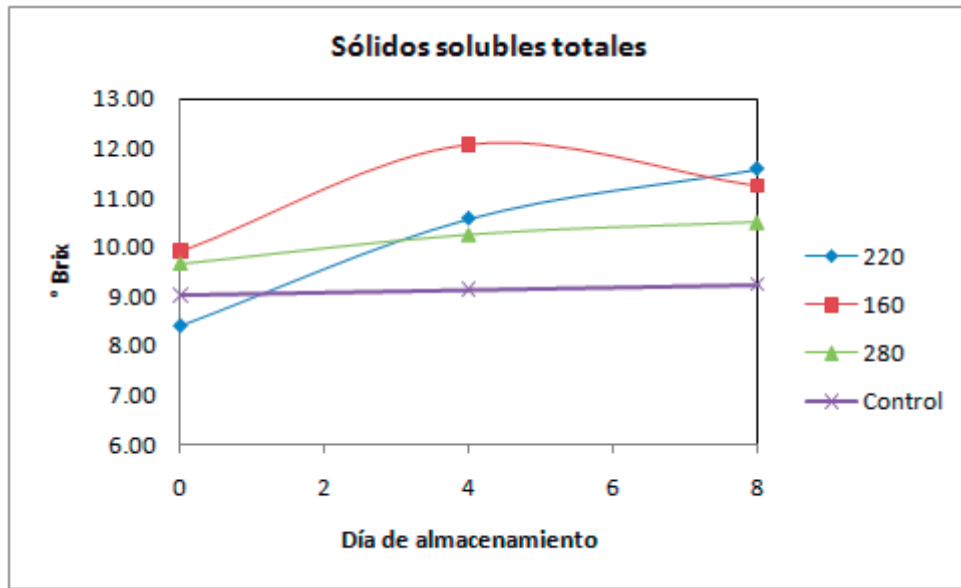


Figura 2. Porcentaje de ° Brix del fruto almacenado a temperatura ambiente

La fuerza de resistencia a la compresión registrado al inicio del almacenamiento a temperatura ambiente en el fruto con una concentración de MJ de 220 $\mu\text{L/L}$ fue de 136.33 g, para el día 4 fue de 114.31 g y para el día 8 fue de 104.81 g. Para el fruto con una concentración de MJ de 160 $\mu\text{L/L}$ en el día 0 se registró una fuerza de resistencia a la compresión de 142.17 g, para el día 4 fue de 106.65 g y para el día 8 fue de 101.47 g. Por último para el fruto con una concentración de MJ de 280 $\mu\text{L/L}$ se registró en el día 0 una resistencia a la compresión de 144 g, para el día 4 fue de 96.65 g y para el día 8 fue de 99.75 g (Figura 3).

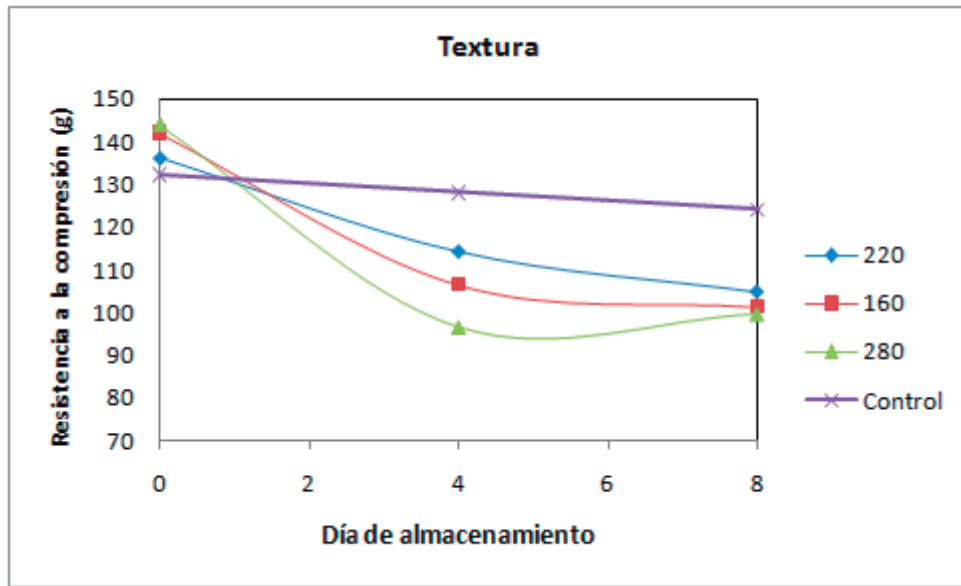


Figura 3. Resistencia a la compresión del fruto almacenado a temperatura ambiente

El porcentaje de acidez registrado al inicio del almacenamiento a temperatura ambiente en el fruto con una concentración de MJ de 220 $\mu\text{L/L}$ fue de 0.9368, para el día 4 fue de 0.7649 y para el día 8 fue de 0.7974. Para el fruto con una concentración de MJ de 160 $\mu\text{L/L}$ se registró en el día 0 un porcentaje de acidez de 0.9156, para el día 4 fue de 0.8390 y para el día 8 fue de 0.8021. Por último para el fruto con una concentración de MJ de 280 $\mu\text{L/L}$ se registró en el día 0 un porcentaje de acidez de 0.8485, para el día 4 fue de 0.8479 y para el día 8 fue de 0.7591 (Figura 4).

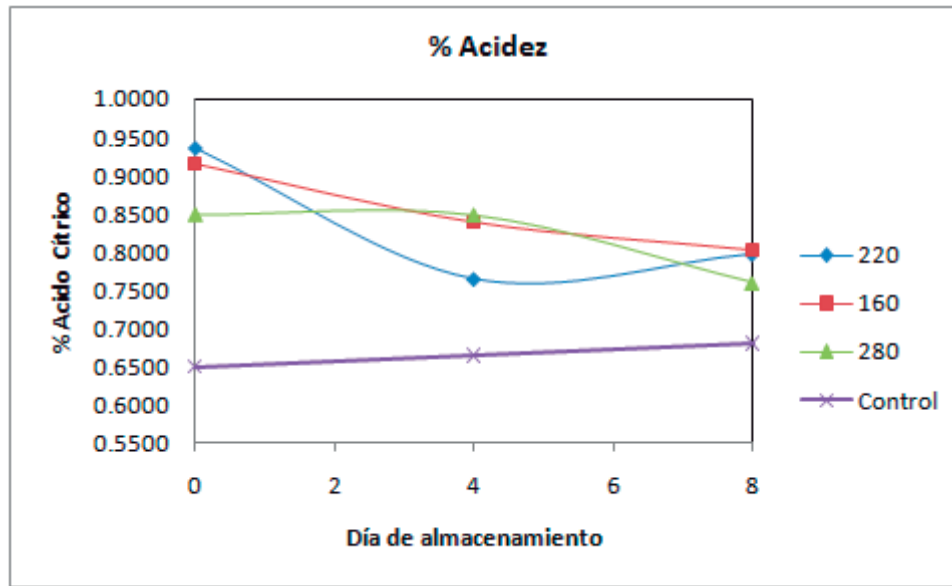


Figura 4. Porcentaje de acidez del fruto almacenado a temperatura ambiente

En el fruto almacenado a temperatura ambiente los resultados no mostraron una diferencia significativa ($P < 0.05$) en ninguno de los parámetros monitoreados a ninguna de las concentraciones utilizadas de MJ ya que permanecieron sin cambios significativos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Contenido de sólidos solubles totales, firmeza y porcentaje de acidez en el fruto almacenado a temperatura ambiente

Concentración MJ	°Brix	Firmeza (g)	% Acidez
220 $\mu\text{L/L}$	10.19 a, b	118.50 a	0.8330 a
160 $\mu\text{L/L}$	10.58 a	116.76 a	0.8485 a
280 $\mu\text{L/L}$	10.14 a, b	113.47 a	0.8185 a
Control	9.39 b	127.29 a	0.6502 b
$\alpha = 0.05$	DE=0.49723	DE=5.90402	DE=0.09238

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente. Prueba de Tukey ($P < 0.05$).

9.1.2 Fruto almacenado a 8°C

El porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix) registrado al inicio del almacenamiento a 8°C en el fruto con una concentración de MJ de 220 µL/L fue de 8.9 °Bx, para el día 12 fue de 11.7 °Brix y para el día 20 fue de 13.57 °Brix. Para el fruto con una concentración de MJ de 160 µL/L se registró un porcentaje de sólidos solubles totales para el día 0 de 9.32 °Brix, al día 12 fue de 11.7 °Brix y de 13.28 °Brix para el día 20. El fruto con una concentración de MJ de 280 µL/L registró un porcentaje de 9.24 °Brix, al día 12 fue de 11.17 °Brix y de 12.46°Brix para el día 20 . Por último, el fruto control registró 9.03 °Brix para el día 0, al día 12 fue de 9.37 °Brix y de 9.59 °Brix para el día 20 (Figura 5).

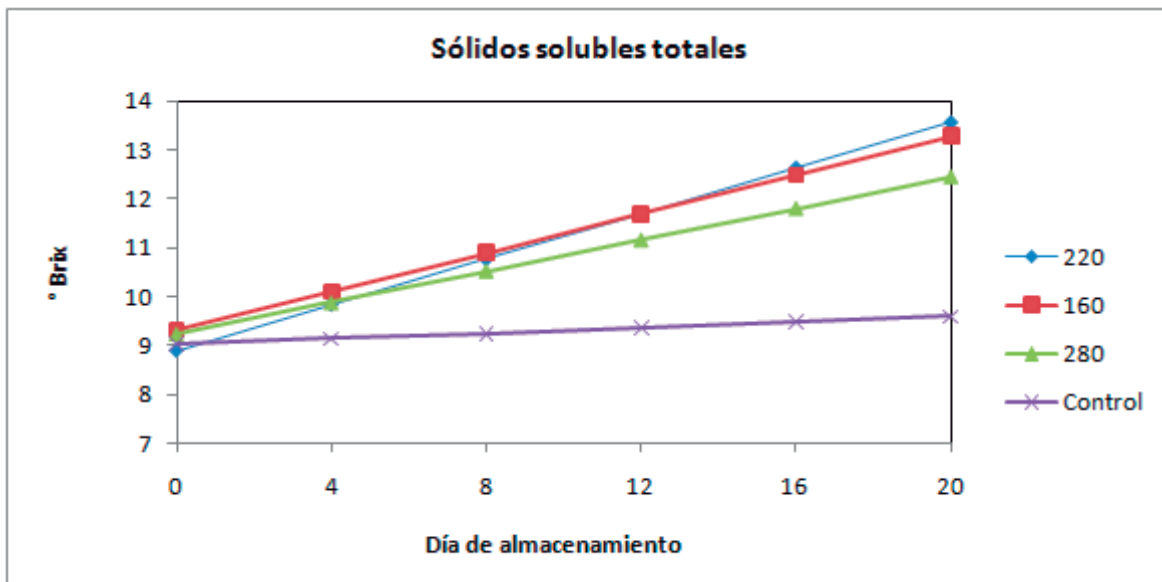


Figura 5. Porcentaje de °Brix en el fruto almacenado a 8°C

La resistencia de compresión registrada al inicio del almacenamiento a temperatura ambiente en el fruto con una concentración de MJ de 220 µL/L fue en el día 0 de 127.25 g, para el día 12 fue de 117.74 g y para el día 20 fue de 111.4 g. Para el fruto con una concentración de MJ de 160 µL/L se registró una resistencia a la

compresión en el día 0 de 132.19 al día 12 fue de 118.39 g y para el día 20 fue de 109.19 g. Para el fruto con una concentración de MJ de 280 $\mu\text{L/L}$ se registró una resistencia a la compresión de 134.2 g, al día 12 fue de 116.8 g y para el día 20 fue de 105.2 g. Por último para el fruto control para el día 0 se registro una resistencia a la compresión de 132.32 g, al día 12 fue de 120.04 g y para el día 20 fue de 111.85 g (Figura 6).

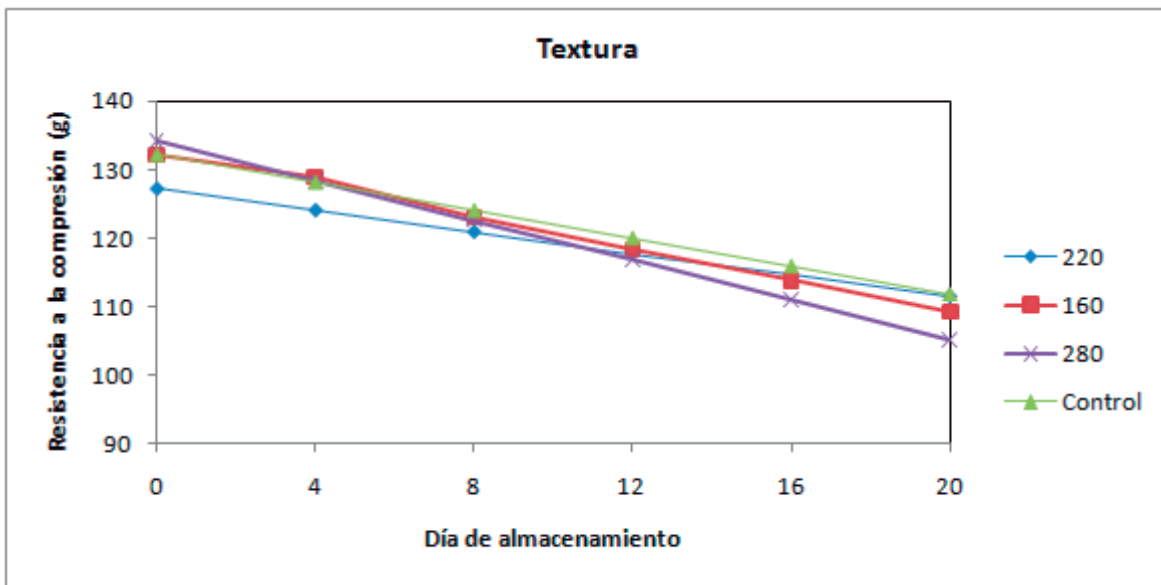


Figura 6. Resistencia a la compresión en el fruto almacenado a 8°C

El porcentaje de acidez registrado al inicio del almacenamiento a temperatura ambiente en el fruto con una concentración de MJ de 220 $\mu\text{L/L}$ fue de 0.9368, para el día 12 fue de 0.9959 y para el día 20 fue de 1.0697. Para el fruto con una concentración de MJ de 160 $\mu\text{L/L}$ se registró en el día 0 un porcentaje de acidez de 0.8973, para el día 12 fue de 0.9460 y para el día 20 fue de 0.9785. Para el fruto con una concentración de MJ de 280 $\mu\text{L/L}$ se registró en el día 0 un porcentaje de acidez de 0.8773, para el día 12 fue de 0.9098 y para el día 20 fue de 0.9315. Por último para el fruto control para el día

0 se registro un porcentaje de acidez de 0.6496, al día 12 fue de 0.6952 y para el día 20 fue de 0.7256 (Figura 7).

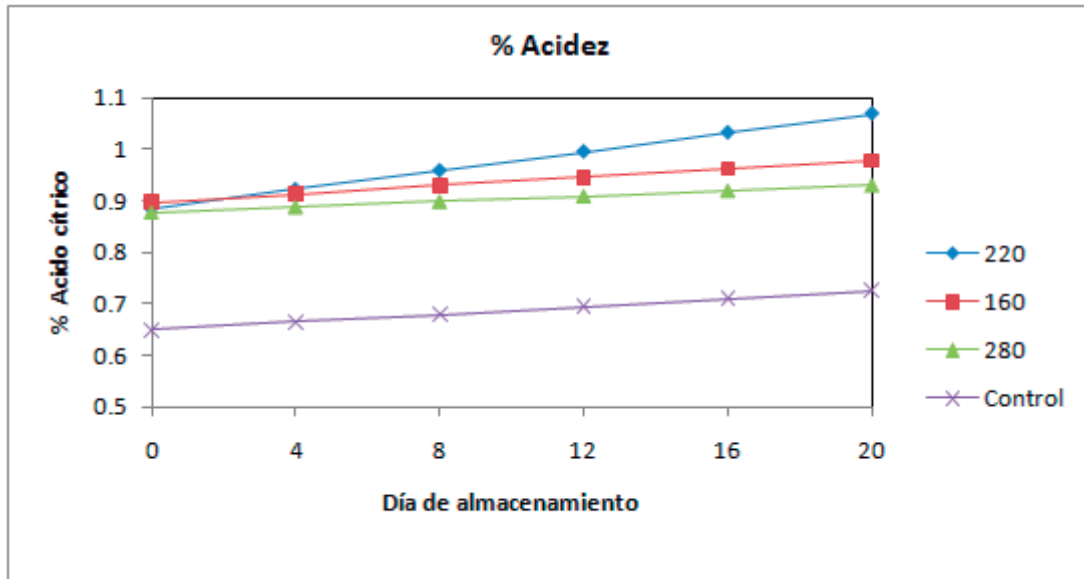


Figura 7. Porcentaje de acidez en el fruto almacenado a 8°C

En el fruto almacenado a temperatura a 8°C los resultados no mostraron una diferencia significativa ($P < 0.05$) en el porcentaje de sólidos solubles totales en ninguna de las concentraciones utilizadas de MJ, pero sí se observó una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las tres diferentes concentraciones utilizadas de MJ con el fruto control. En la firmeza medida como fuerza a la compresión no se obtuvo diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las diversas concentraciones utilizadas de MJ ni en el fruto control. En el porcentaje de acidez si se observó diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las diversas concentraciones utilizadas de MJ así como en las tres concentraciones utilizadas de MJ con respecto al fruto control para los diversos tiempos de almacenamiento (Cuadro 3).

Cuadro 3. Contenido de sólidos solubles totales, firmeza y porcentaje de acidez en el fruto almacenado a 8 °C.

Concentración MJ	°Brix	Firmeza (g)	% Acidez
220 µL/L	11.46 a	118.35 a	0.9952 a
160 µL/L	11.13 a	119.58 a	0.9354 a,b
280 µL/L	10.74 a	118.52 a	0.9041 b
Control	9.32 b	122.09 a	0.6880 c
$\alpha= 0.05$	DE=0.2684	DE=2.3020	DE=0.0236

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente. Prueba de Tukey ($P < 0.05$)

Con los resultados obtenidos en los análisis estadísticos se concluye que la concentración idónea de MJ que se utilizará es de 220 µL con un tiempo de inmersión de 15 minutos.

9.2 Estudio del fruto de guayaba con inmersiones de cloruro de calcio (CaCl₂) y metil jasmonato almacenados a 8°C

El porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix) se incremento de forma notable durante el periodo de almacenamiento desde 12.03 en el día 0 de almacenamiento hasta 14.81 °Brix para el día 28 de almacenamiento en el fruto Control, mientras que en el fruto tratado con MJ en el día 0 mostró un porcentaje de 10.75 °Brix y para el día 28 de almacenamiento el porcentaje de sólidos solubles totales fue de 13.78 °Brix; en el fruto con CaCl₂ en el día 0 se mostró un porcentaje de 11.72 °Brix y para el día 28 de almacenamiento el porcentaje de sólidos solubles totales fue de 14.59 °Brix. Este incremento en el contenido de sólidos solubles totales puede ser el resultado de la alta actividad metabólica mostrada por las muestras generando un proceso de hidrólisis de los almidones. López Enríquez y Mercado Silva (2005) y Nisha y col. (2003) también

describieron un aumento en el contenido de sólidos solubles totales en el fruto de guayaba al incrementarse el tiempo de almacenamiento y por lo tanto el grado de madurez del fruto (Figura 8)



Figura 8. Porcentaje de °Brix en el fruto almacenado a 8 °C

La resistencia a la compresión disminuyó de forma notable durante el periodo de almacenamiento desde 119.13 g en el día 0 hasta 99.45 g para el día 28 en el fruto Control, mientras que en el fruto tratado con MJ en el día 0 se mostró una resistencia a la compresión de 121.89 g y para el día 28 de almacenamiento la resistencia a la compresión fue de 97.59 g; en el fruto almacenado con CaCl₂ en el día 0 de almacenamiento se mostró una resistencia a la compresión de 117.94 g y para el día 28 de almacenamiento la resistencia a la compresión fue de 96.28 g. Los cambios en la textura durante la madurez son importantes ya que afectan directamente la vida de almacenamiento de los frutos. Hemicelulosa, celulosa, almidón, pectina y lignina disminuyen continuamente durante el almacenamiento debido a que la actividad enzimática en la pared de la célula aumenta con el estado de madurez, debido a esto hay una pérdida en la rigidez del fruto y por lo tanto se observa un ablandamiento en el

tejido del mismo. Estos resultados concuerdan con los reportados por Ben-Hur y col (2003) y Nisha y col. (2003) (Figura 9).

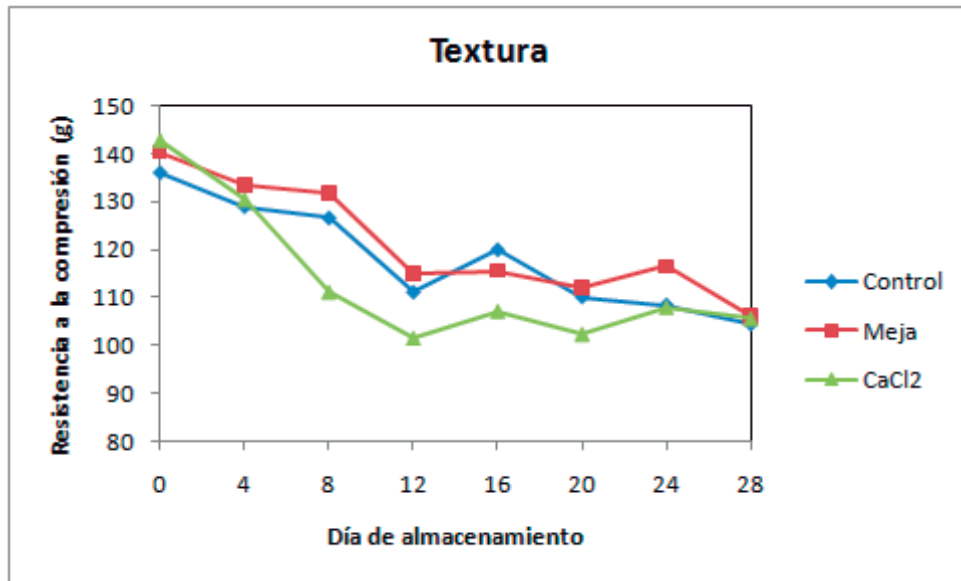


Figura 9. Resistencia a la compresión en el fruto almacenado a 8°C

El índice de refracción aumentó durante el periodo de almacenamiento de 1.3510 en el día 0 hasta 1.3553 para el día 28 en el fruto Control, mientras que en el fruto tratado con MJ en el día 0 se presentó un índice de refracción de 1.3488 y para el día 28 de almacenamiento el índice e refracción fue de 1.3536; en el fruto almacenado con CaCl₂ en el día 0 de almacenamiento se presentó un índice de refracción de 1.3506 y para el día 28 de almacenamiento el índice de refracción fue de 1.3549. El aumento en el índice de refracción presentado en el fruto al transcurrir el tiempo de almacenamiento es debido a que el contenido de azúcares va aumentando ya que se van hidrolizando los polisacáridos encontrados en la pared celular del fruto (Figura 10).

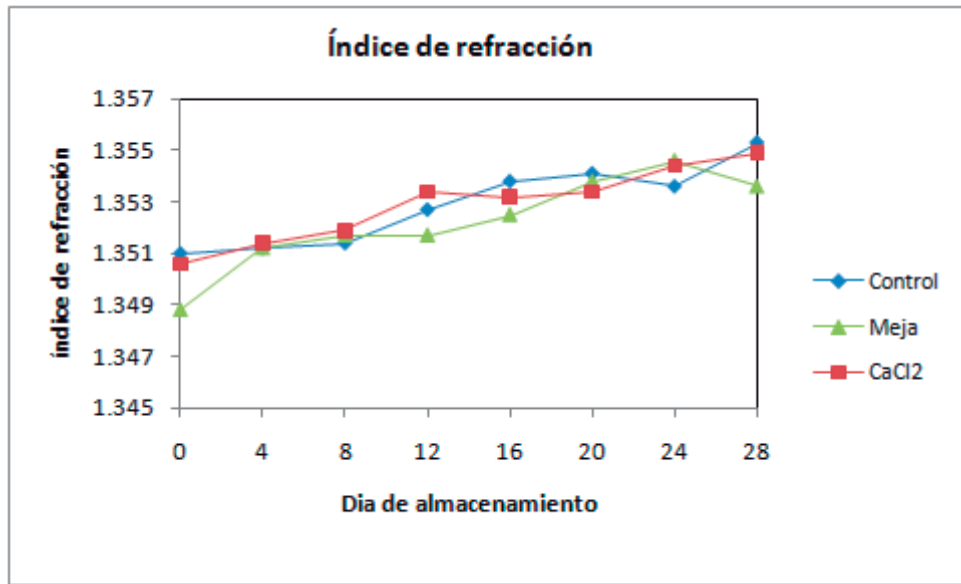


Figura 10. Índice de refracción en el fruto almacenado a 8°C

El porcentaje de acidez total titulable aumento durante el periodo de almacenamiento de 0.7103% en el día 0 hasta 0.8198% para el día 20 Control, mientras que en el fruto tratado con MJ en el día 0 se presentó un porcentaje de acidez total titulable de 0.6699% y para el día 20 el porcentaje de acidez total titulable fue de 0.7440%; en el fruto almacenado con CaCl₂ en el día 0 de almacenamiento se presentó un porcentaje de acidez total titulable de 0.5119% y para el día 20 fue de 0.7517% (Figura 11). El aumento en el porcentaje de acidez total titulable es debido a la degradación de las sustancias pecticas y hemicelulosas, debilitándose las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen unidas las células. Esto se traduce en la pérdida de la firmeza del fruto y aumento de los azúcares solubles y ácidos durante el proceso de maduración. Por otro lado, los ácidos libres en los frutos aumentan al comenzar el crecimiento. Yursof y Mohamed (1987) y Laguado y col. (1999) reportan fluctuaciones significativas de acidez titulable en frutos de guayaba durante el proceso de maduración.

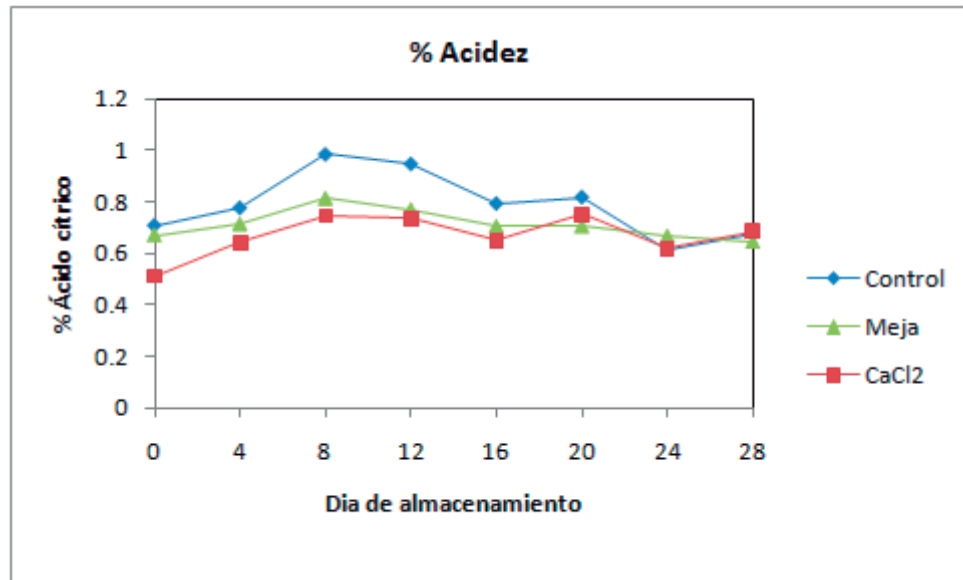


Figura 11. Porcentaje de acidez en el fruto almacenado a 8°C

El porcentaje de °Brix, el índice de refracción y el porcentaje de acidez total titulable aumentaron con el tiempo de almacenamiento mientras que la resistencia a la compresión presentó una relación inversa con los parámetros anteriores, lo cual se presentó en el fruto control, el fruto tratado con MJ y CaCl₂ en los diferentes tiempos de almacenamiento (Cuadro 4).

Cuadro 4. Contenido de °Brix, resistencia a la compresión, índice de refracción y % acidez en los frutos almacenados con MJ, CaCl₂ y control.

Lote	°Brix	Resistencia a		
		la compresión(g)	Índice de refracción	% Acidez
MJ	12.8320 b	103.7547 a	1.3522 a	0.7110 b
CaCl ₂	13.2539 a	103.835 a	1.3529 a	0.6677 c
Control	13.2617 a	105.234 a	1.3474 a	0.7918 a
α= 0.05	DE=0.24587	DE=0.83186	DE=0.00299	DE=0.06299

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente. Prueba de Tukey ($P < 0.05$)

En el parámetro de pérdida de peso se presentó una diferencia significativa entre los tres lotes, los cuales muestran una tendencia muy similar, van disminuyendo conforme aumenta el tiempo de almacenamiento (Figura 12). Los frutos control presentaron una mayor pérdida de peso con respecto a los frutos tratados con CaCl_2 y MJ, esto se puede deber a que el fruto Control presenta una cáscara de menor grosor, lo cual pudo ocasionar la diferencia, aunque esto también puede indicar una diferencia en permeabilidad de agua (Nakasone y Paull, 1998; Lazan *et al.*, 1998; González-Aguilar *et al.*, 2007). Esto también se observó en frutos de guayaba Criolla y Roja y San Miguel que se almacenaron en las mismas condiciones y presentaron diferencias en pérdida de peso (Laguado *et al.*, 1998, Haffner *et al.*, 2002).

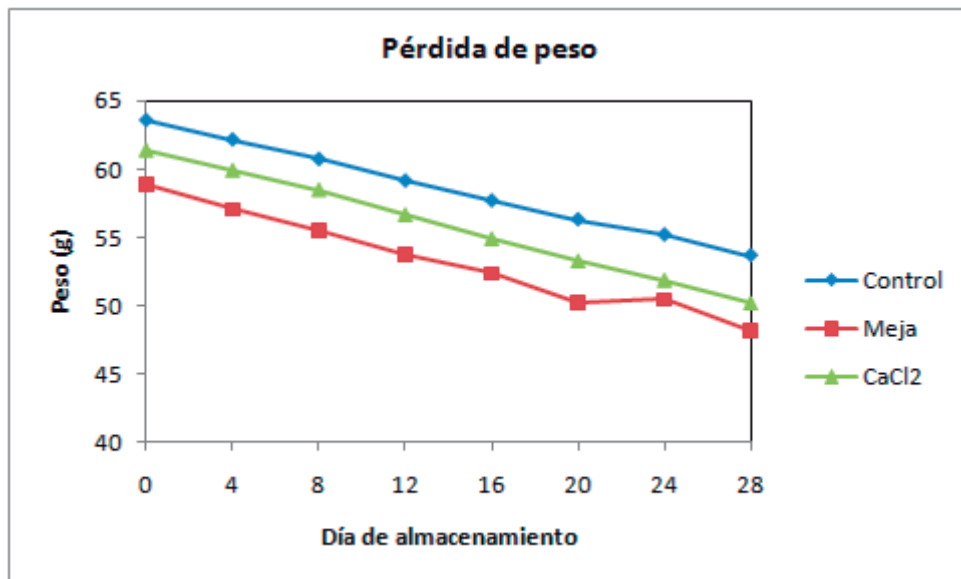


Figura 12. Pérdida de peso en el fruto almacenado a 8°C

Otro aspecto importante a presentar es la variación de los diámetros ecuatoriales, los cuales se muestran en la Figura 13. En ambos lotes de guayaba se presenta una disminución gradual uniforme en sus dimensiones geométricas; sin

embargo se observan diferencias significativas con respecto a este parámetro y el lote que presento una mayor disminución del diámetro ecuatorial fue el lote Control. Esta respuesta se debe a la pérdida de peso y agua durante el proceso de maduración del fruto en el tiempo de almacenamiento (Del Valle *et al.*, 1998, Pereira *et al.*; 2007).

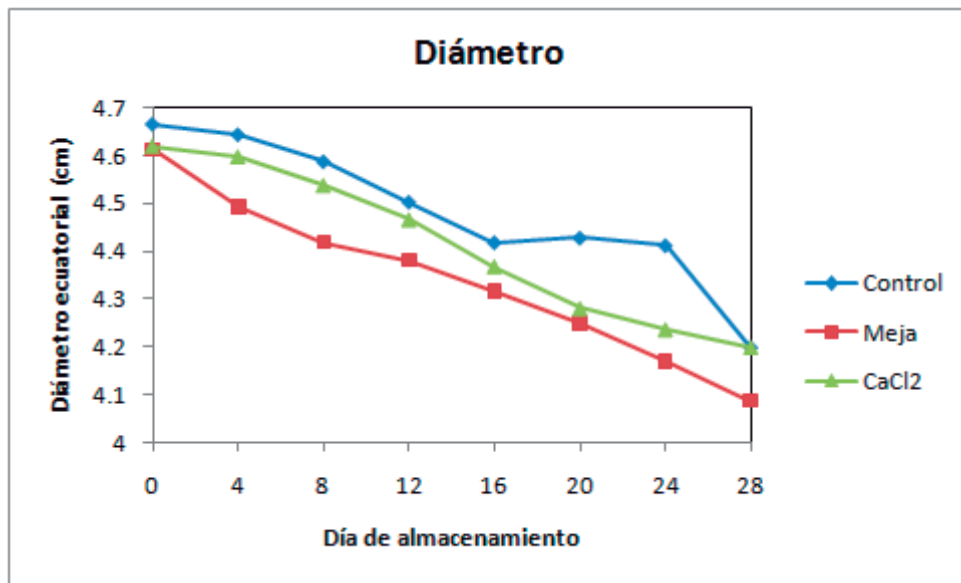


Figura 13. Diámetros de los frutos almacenados a 8°C

Los tres lotes presentaron un ángulo de matiz inicial entre 140 y 150° que corresponde a un color verde y al final del almacenamiento los valores entre 40 y 50 ° presentan un color amarillo intenso, mientras que para el día 4 de almacenamiento presentan un ángulo aproximado de 120 ° que presenta un color amarillo tenue. La tendencia que muestran los tres lotes fue de disminuir el ángulo de color con respecto al día de almacenamiento y no se presentaron diferencias estadísticamente significativas de ninguno de los lotes tratados con MJ y CaCl₂ con respecto al lote Control. La pérdida de color verde en el fruto de guayaba se debe a la degradación de clorofilas y el aumento en la acumulación de los betacarotenos (Olias *et al.*; 1991, González- Aguilar, 2004, Sato *et al.*; 2006). Aunque no existe una diferencia estadísticamente significativa se puede observar que el fruto tratado con CaCl₂ presenta una tendencia mayor a la

pérdida del color verde y esto se debe a la formación del pectato de calcio en el fruto (Rodríguez *et al*, 2003).

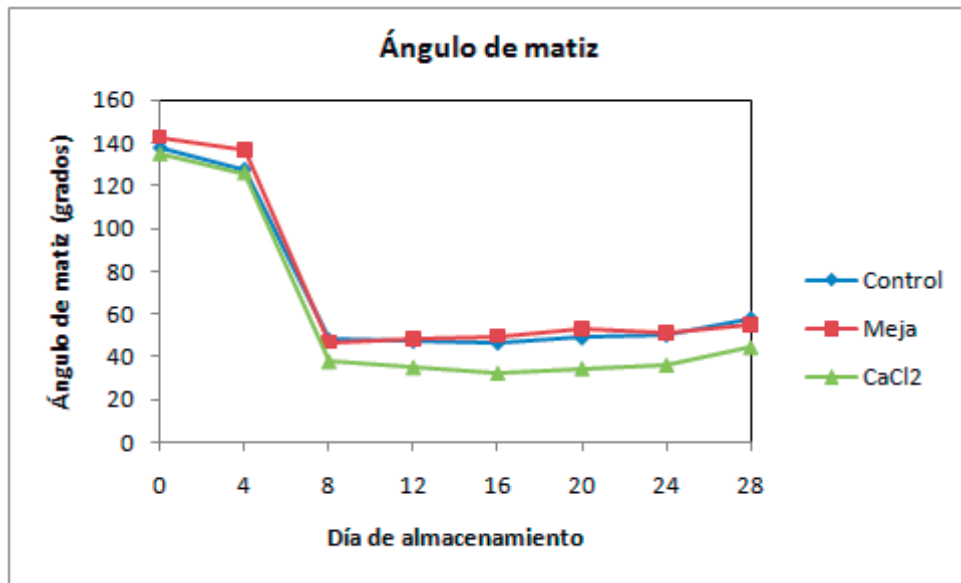


Figura 14. Ángulo de matiz en el fruto almacenado a 8°C

En la siguiente gráfica se observa que la fuerza máxima del fruto disminuye con el tiempo independientemente de que tenga o no recubrimiento. También se observa que la muestra tratada con CaCl₂ presenta una mayor resistencia a la compresión debido a que el CaCl₂ forma enlaces entrecruzados con la pectina encontrada en la pared celular formando pectato de calcio, lo cual aumenta la firmeza del fruto impidiendo su degradación (Pereira, 2007).

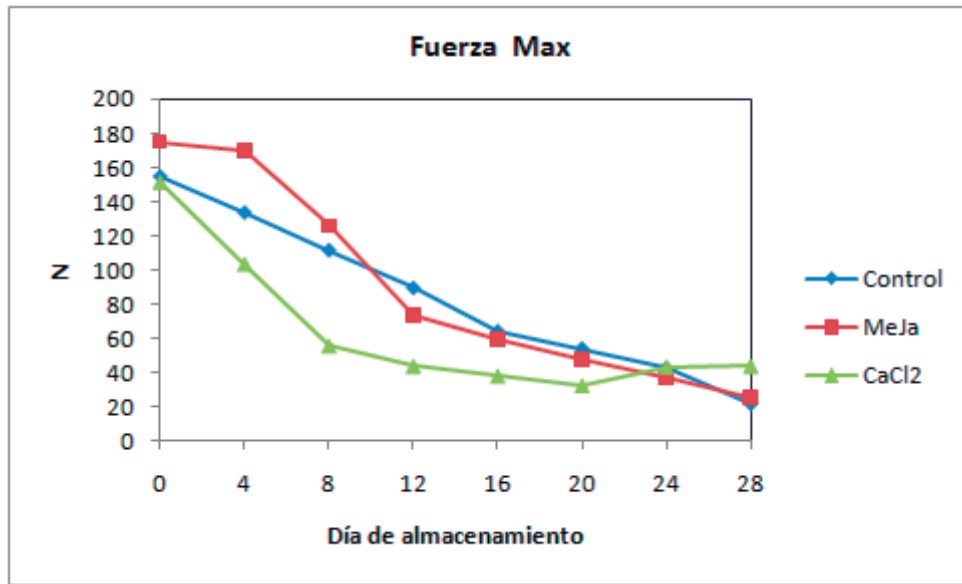


Figura 15. Fuerza máxima en los frutos almacenados a 8°C

La figura 16 presenta el comportamiento del Modulo de Young de las tres muestras en su periodo de almacenamiento, se puede observar que el modulo de Young decae de forma similar con respecto al MJ y el Control mientras que en la muestra con CaCl₂ presenta un menor decaimiento a partir del día 20 con respecto a las otras dos muestras; esta diferencia se debe a que el CaCl₂ preserva la textura del fruto tal y como se menciona en el párrafo anterior.

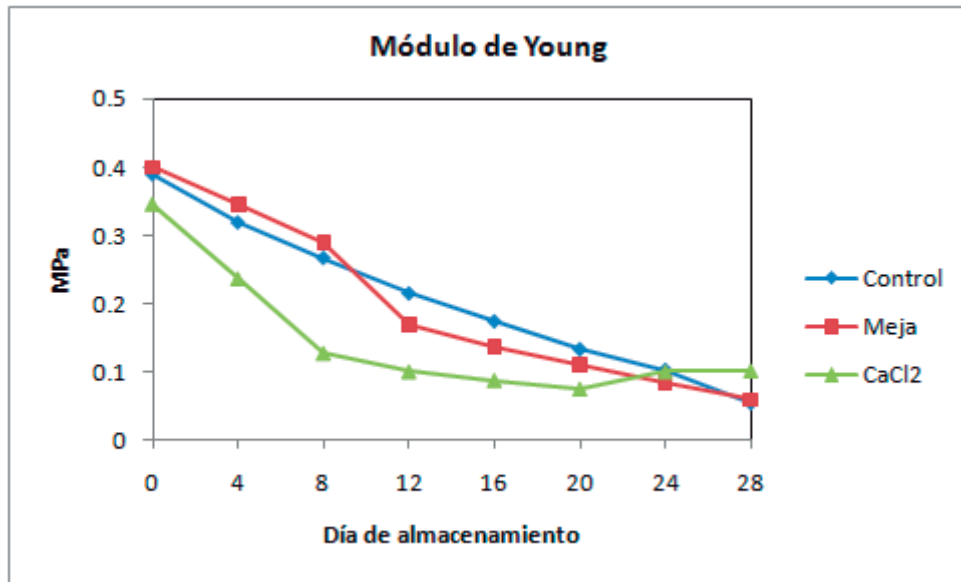


Figura 16. Módulo de Young calculado a partir de la prueba no destructiva

La grafica 17 presenta el comportamiento del Modulo de Young, obtenido usando el método de impulso acústico, de las tres muestras en su periodo de almacenamiento. La diferencia en el orden de magnitud se debe a que en el método destructivo se realizan pruebas independientes sobre frutos diferentes por cada día de medición y en el método no destructivo se realizan pruebas dependientes sobre los mismos frutos. Se puede observar que el modulo de Young también presenta un comportamiento similar en las tres muestras, siendo mejor la del fruto recubierto con CaCl_2 . Los cambios encontrados en los valores del Módulo de Young calculados a partir de la prueba no destructiva son un buen indicador de la firmeza del fruto cuando la Técnica de Impacto Acústico es usada para medir la firmeza del fruto de guayaba durante el almacenamiento. Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos por Gomez *et al.*, (2005), Diezma *et al.*, (2004) De Belie *et al.*, (2000) y Galili *et al.*; (1998).

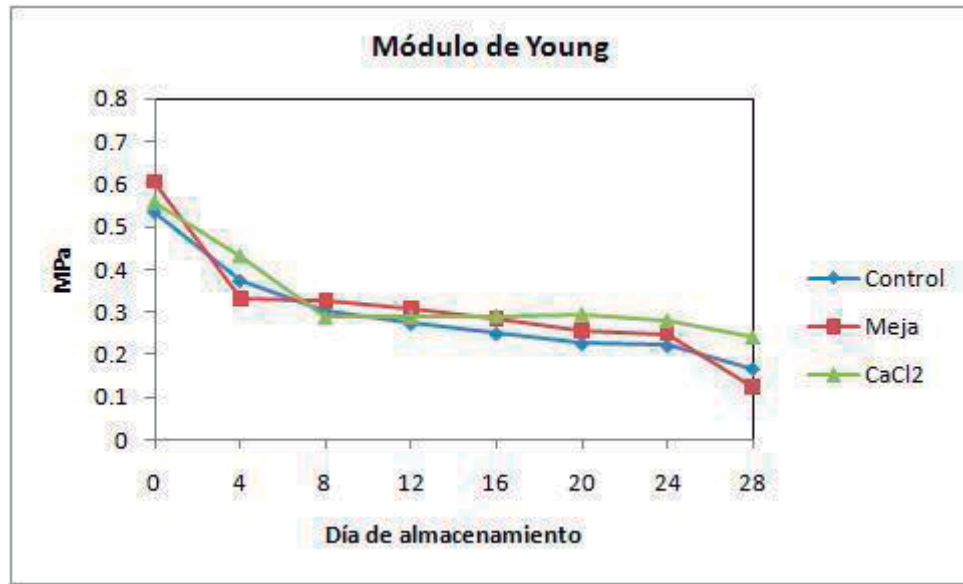


Figura 17. Módulo de Young calculado a partir del impacto acústico

En la gráfica 18 se presenta el esfuerzo a la compresión de las tres muestras en función del tiempo de almacenamiento, en la cula se observa que no hay una diferencia significativa en cuanto a este parámetro en los fruto recubierto con CaCl₂ y MJ con respecto al fruto control, aunque no hay una diferencia estadística el fruto recubierto con CaCl₂ muestra una tendecia a presentar una mayor resistencia a la compresión que las otras dos muestras y por lo tanto es menos susceptible a los daños mecánicos que pueden producirse durante la cosecha, manipulación, almacenamiento y procesamiento, que pueden limitar su producción y productividad.

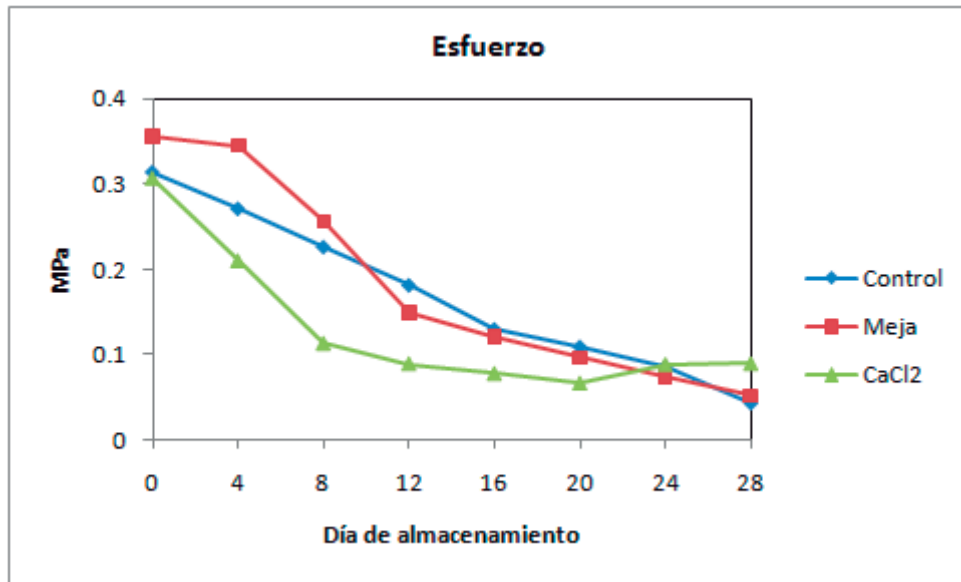


Figura 18. Esfuerzo de los diferentes lotes de fruto almacenados a 8 °C

En el siguiente cuadro se presentan los resultados estadísticos para las pruebas de pérdida de peso, reducción del diámetro ecuatorial, fuerza máxima, Módulo de Young (Calculada en base a la prueba destructiva y no destructiva) y el esfuerzo del fruto a ser deformado de las muestras tratadas con MJ y CaCl₂ así como del fruto control.

Cuadro 5. Pérdida de peso, diámetro, fuerza máxima, módulo de Young (Prueba destructiva y no destructiva) y esfuerzo en el fruto almacenado a 8 °C.

Lote	Pérdida de peso	Diámetro	Fuerza máxima	Módulo de Young prueba no destructiva	Módulo de Young prueba destructiva	Esfuerzo
MJ	53.2916 c	4.3469 a	91.3963 a	318183.15 a	209911.2 a	186192.29 a
CaCl ₂	55.8261 b	4.4132 a,b	76.3976 a	350339.95 a	175132.48 a	155635.82 a
Control	58.5603 a	4.4734 a	90.3562 a	30081531 a	220100.11 a	191160.74 a
$\alpha= 0.05$	DE= 2.6350	DE=0.06327	DE=8.3754	DE= 25127.646	DE=23577.75	DE=19237.13

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente. Prueba de Tukey ($P < 0.05$)

Con estos resultados se puede observar que el CaCl_2 y MJ si ejercen un efecto sobre los parámetros de pérdida de peso y reducción del diámetro ecuatorial en comparación con el fruto tratado pero no ejercen ningún efecto sobre la fuerza máxima de compresión, el módulo de Young calculado a partir de la prueba destructiva y no destructiva así como el esfuerzo que presenta el fruto al ser deformado con los dos recubrimientos utilizados en comparación con la muestra Control.

X. CONCLUSIÓN

El CaCl_2 al 1% prolonga el tiempo de almacenamiento de los frutos de guayaba. El tiempo de duración de los frutos es mayor cuando se almacenan a 8°C que a temperatura ambiente. El tiempo de almacenamiento y la temperatura son importantes para prolongar la vida útil de la fruta de guayaba en términos de firmeza, pérdida de peso, color y otros parámetros químicos.

el fruto de guayaba recubrimiento con CaCl_2 al 1% fue el que presentó mejor resultados para prolongar el tiempo de almacenamiento ya que previene el ablandamiento y senescencia del fruto, debido a que se producen pectatos de calcio que incrementan la rigidez de la pared celular, haciendo el tejido más resistente a los agentes físicos como a los enzimáticos. El calcio está considerado como el principal responsable de la formación de la lámina media, estructura y permeabilidad de la pared celular, así como también de la elongación y división celular.

Mientras que el fruto recubierto con MJ utilizado en una concentración de $220 \mu\text{L/L}$ induce diferentes mecanismos de defensa en contra del stress en tejidos vegetales Recientemente, se ha observado que el tratamiento con metil jasmonato reduce el deterioro y daño por frío de diferentes frutos, que puede incrementar la síntesis del etileno y consecuentemente la maduración. En el caso del fruto de guayaba el fruto tratado con este recubrimiento causaron defectos en el pericarpio del fruto deteriora la calidad visual del fruto.

La técnica de Impacto Acústico puede remplazar las técnicas destructivas convencionales para determinar la firmeza de la fruta y puede predecir el tiempo de vida de anaquel de los frutos de guayaba

XI. REFERENCIAS

- Abbott, J. A., Bachman, G. S., Childrens, N. F., Fitzgerald, J. V., and Matusik, F. J. 1968. Sonic techniques for measuring texture of fruit and vegetables. *Food Technol.* 22 (5), 635-645.
- Abbott, J.A. 1999. QQuality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 15:207-225.
- Álvarez, M.D. and Canet, W. 1998. Characterization of the frying process of fresh and blanched potato strips using response surface methodology. *European Food Research and Technology*, 211(589), 326-335.
- Anzaldúa-Morales, A. and Bourne, M.C. 1992. Differences in texture and solids content of the cortex and pith tissues of potato tubers. *Agriculture* 37(1), 1-30.
- Aranda, J. I., Arroyo, G., and Baltazar, A. 2004. Técnicas de control de calidad no destructivas aplicadas a la industria agrícola. *Ciencia Nicolaita* 39:217-226.
- Baltazar, A., Espina-Lucero, J., Ramos-Torres, I., and González-Aguilar, G. 2006. Effect of methyl jasmonate with destructive and nondestructive tests. *Journal of Food Engineering.* 80(2007), 1086-1095.
- Baoping, J. 1999. Nondestructive technology for fruit grading. Proc. Of the International conference on Agricultural Engineering, Beijing, China.
- Basseto, E., Jacomino, A. P., Pinheiro, A.L. and Kluge A. 2004. Delay of ripening of 'Pedro Sato' guava with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Thecnol.* 35, 303-308.
- Ben-Hur, M., Durigan, J. F., Rossi, Jr. and Durival O. 2003. Minimal processing of Paluma and Pedro Sato guava fruits. 2 Chemical and microbiological evaluation. *Ciencia Tecnologia de Alimentos* 23(3), 409-413.
- Castellano, J., Quijada, O., Ramírez, R., Sayago, E. 2005. Comportamiento poscosecha de frutas de guayaba (*Psidium guajava* L.) tratados con cloruro de calcio y agua caliente a dos temperaturas de almacenamiento. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha.* 6(2), 78-82.
- Chávez-Franco, S.H., Vázquez-García, E., y C., Saucedo-Veloz. 2000. Propiedades biomecánicas de frutos de zarzamora. *Agrociencia* 34:329-335.
- CIE .1986. Colorimetry. CIE Publications, 15.2, 2nd ed., Commission Internationale de L'Eclairage, Central Bureau of the CIE, Vienna.

- Cisneros Valdez O. E. 2004. Efecto de la temperatura sobre la calidad física de los frutos de Guayaba en tres estados de maduración. Tesis. Licenciatura UMSNH. Morelia, Michoacán, México. 19-20 pp.
- Cheng, G.W. and Huber, D.J. 1996. Alteration in structural polysaccharides during liquifaction of tomato locule tissue. *Plant Physiol.* 111:447-457
- Cheng, G.W. and Huber, D.J. 1997. Carbohydrate solubilization or tomato locule tissue liquefaction during ripening. *Physiol. Plant.* 101:51-58.
- De Belie, N., Schotte, S., Coucke, P. and De Baerdemaeker, J. 2000. Development of an automated monitoring device to quantify changes in firmness of apples during storage. *Postharvest Bio. Tech.* 18, 1-8.
- Del Valle, J.M., Aranguiz, V and Leon, H. 1998. Effects of blanching and calcium infiltration on PPO activity, texture, microestructure and kinetics of osmotic dehydration of Apple tissue. *Food Res Int* 31:557-569.
- Diezma, B., y Ruiz-Altisent, M. 2004. Propiedades acústicas aplicadas a la determinación de los parámetros de calidad interna de productos hortofrutícolas. *Revista Española de Acústica.* 35, 20-25.
- Diezma, B., Ruiz-Altisent, M. and Barreiro, P. 2004. Detection of internal quality in seedless watermelon by acoustic impulse response. *Biosystem Eng.* 88, 221-230.
- Ding, C. K., Wang, C. Y., Cross, K. C. and Smith. D.L. 2001. Reduction in chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate. *Plant Science* 161(6):895-901.
- Ding, C. K., Wang, C. Y., Cross, K. C. and Smith. D.L. 2002. Jasmonate and salicylate the expression of pathogenesis-related-protein and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. *Planta* 214(6):895-901.
- Duprat, F., Grotte, M., Pietri, E., and Loonis, D. 1997. The acoustic impulse response of method for measuring the overall firmness of fruit. *J. Agric. Eng. Res.* 66:251-259.
- Fallahi, E., Conway, W. S., Hickey, K. D., and Sams, C.E. 1997. The role of calcium and nitrogen in postharvest quality and disease resistance of apples. *Hortsciense.* 32, 831-835.
- Food and Agricultural Organization, Serie: Tecnología Postcosecha 6, Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile 1998. <http://www.fao.org/inpho/ulibrary/X00553/X0055500.htm>.

- Galili, N., Shmulevich, I, and Benichou, N. 1998. Acoustic testing of avocado for fruits ripeness evaluation. *Transactions of the ASAE* 41(2), 399-407.
- Gomez, A. H., Wang, J. and García, A.G. 2005. Impulse response of pear fruit and its relation to Magness-Taylor firmness during storage. *Postharvest Bio. Tech.* 35, 209-215.
- González-Aguilar, G. A., Buta., and Wang, C. Y. 2003. Methyl jasmonate and modified atmosphere packaging (MAP) reduce decay and maintain postharvest quality of papaya "Sunrise". *Postharvest Biology and Technology.* 28, 361-370.
- González-Aguilar, G.A., Tiznado-Hernández, M.E., Zavaleta-Gatica, R and Martínez-Téllez, M.A. 2004. Methyl jasmonate reduce chilling injury and activate the defense of guava fruits. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 313 (2004) 694-701.
- González-Aguilar, G.A., Zavaleta-Gatica, R. and Tiznado-Hernández, M.E. 2007. Efecto del metil jasmonato en las respuestas fisiológicas de guayaba (*Psidium guajava*) almacenada a bajas temperaturas. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 13:1,63-69.
- Haffner, K., Rosenfeld, H.J., Skrede, G., and Wang, L. 2002. Quality of red raspberry *Rubus idaeus* L. cultivars after storage in controlled and normal atmospheres. *Postharvest Biol. Technol.* 24, 279-289.
- Hunter, R, S. 1975. The measurement of appearance. New York, NY., John Wiley and Sons, Inc.,
- Kuehl, R. O. 1999. Design of experiments: statistical principles of research design and analysis. 2nd ed. Duxbury Press.
- Laguado, M. E., Pérez, C. Alvarado y Marín, M. 1999. Características fisicoquímicas y fisiológicas de frutos de guayaba de los tipos Criolla roja y San Miguel procedentes de dos plantaciones comerciales. *Rev. Fac. Agro.* 16:382-397.
- Laguado, N, y Marín, M., 2004. Cambios en el contenido de glucosa y sacarosa durante el desarrollo de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Rev. Fac. Agro.* 21(1):299-305.
- Lazan, H., Ali, M.Z. 1998. Guava. In: Tropical and Subtropical Fruits. Volume III. P.E. SHAW. P.E: H.T. CHAN; S. NAGY; W. F. WARDOSWSKI. (eds.). ED. Agrosience, Inc. Auburndale, U.S.A. 446-485 pp.

- López Enríquez E., y Mercado Silva E. 2005. Cambios fisiológicos y de calidad en guayaba mínimamente procesada. Memorias *Symposium "Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados"*. La Habana, Cuba. 41-46.
- Marín-Larreal Merilyn. 2004. Investigación y Producción del guayabo en Venezuela. Revista del VIII Congreso Venezolano de Fruticultura. Maracaibo, Venezuela. 126-136 pp.
- Mata, B. I., y Rodríguez M. A., 2000. Cultivo y producción del guayabo, Ed. Trillas, México, 27-49 pp.
- Marcus, R. T. 1999. Colorimetry. In J. G. Webster (Ed.). The measurement, instrumentation and sensors handbook. Boca Raton, Fla: CRC Press: IEEE Press, Chapter 58.
- Mercado, S.E., Benito B. P. y García, V. M. A. 1998. Fruits Development harvest index and ripening changes of guavas produced in central Mexico. *Post Harvest Biol Tec.* 13:143-150
- Mercado Silva E., Peiser, G., García Velasco, Ma. A. y Benito Bautista. 2003. Respuestas del fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) al etileno, temperatura y composición atmosférica. Memorias *Primer Symposium Internacional de la Guayaba, guavagoiabeira*. INIFAP. Aguascalientes, México. 152-171.
- Mondal, K., Singh, A.P., Saxena, N., Malhotra, S.P., Dhawan, K. and Singh, R. 2008. Possible interactions of polyamines and ethylene during ripening of guava (*Psidium guajava* L.) fruits. *J. Food Biochem.* 32:46-59.
- Moreira, R.G., Catell-Pérez, M. E. and Barrufet, M. A. 1999. Deep-Fat Frying. Fundamentals an Applications. Aspen Publication, 88-101pp.
- Mustaffa, R., Osman, A., Yusof, S. and Mohamed, S. 1998. Physico-chemical changes in Cavendish banana (*Musa cavendishii* L. var. Montel) at different positions within a bunch during development and maturation. *J. Sci. Food Agric.* 78(2):201-207.
- Nakasone, H. and Paull, R. E. 1998. Tropical Fruits. CAB International, Wallingford, England. 445. p.

- Nisha Jain, Kamal Dawan, Sarla Malhotra P., Saleem Siddiqui and Randhir Singh. 2001. Compositional and enzymatic changes in guava (*Psidium guajava* L.) fruits during ripening. *Acta Physiologiae Plantarum*, 23(3):357-362.
- Norma del Codex para la Guayaba. CODEX STAN 215-1999. EMD.1-2005.
- Olias, J. M., Sanz, L.C., y Pérez, A.G. 1991. Influencia del jasmonato de metilo en la maduración y postcosecha de manzana. El etileno en la Maduración y Postcosecha de Frutos y Hortalizas. I. Recanses; M. GRAELL; M- VENDERELL (eds.). Paper kite, Spain. 60-67 pp.
- Pandey, M., Srivastava, G. D. and Prasad, N.K. 1998. Physiological changes associated with ripening in two mango varieties. *Indian J. Plant Physiol.* 3:94-96.
- Padilla Ramírez, J.S., González Gaona, E., Perales de la Cruz, M.A., Reyes Phillips, H. R. y Osuna Ceja, E.S. 2007. Variebilidad del fruto de la Guayaba (*Psidium guajava*) Mexicana. Red de frutales. Sistema Nacional de Recursos Filogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Publicación Especial Núm 31. 3-13 pp.
- Peleg, M. 1979. Characterization of the stress relaxation curves of solids foods. *Journal of Food Science.* 44(1), 227-281.
- Perales de la Cruz, M, A., Padilla Ramírez J. S., González Gaona, E. y Reyes Philips, H, R. 2005. Manual para la Producción Integral del Cultivo de Guayaba, Campo Experimental Pabellón, Centro de Investigación Regional Norte-Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Pabellón, México. 6-8, 80-83 pp.
- Pereira., Leila, M. Carmello-Guereiro, Sandra, M. Bolini, Helena, MA., Cunha, Rosiane L. and Hubinger, Miriam D. 2007. Effect of calcium salts on the texture, structure and sensory acceptance of osmotically dehydrated guavas. *J. Sci Food Agric* 87:1149-1156.
- Regalado Contreras L. 1999. Papel de la enzima fosfatidatofosfatasa y los niveles de antioxidantes naturales presentes en el fruto de guayaba (*Psidium guajava*) durante la generación de daños por frío en frutos pretratados hidrotermicamente. Tesis de Maestría en Ciencia y tecnología de los Alimentos. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro, México. 38 pp.
- Reyes, M.U., Paull, R.E. 1995. Effect of storage temperature and ethylene treatment on guava (*Psidium guajava* L.) fruit ripening. *Postharvest Biol. Technol.* 6, 357-365.u

- Rodrigues, A.C.C., Cunha, R.L. and Hubinger, M. D. 2003. Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. *Journal of Food Engineering*, 59, 129-135.
- Sato, Ana Carla K., Sanjinéz-Argandoña, Eliana J. and Cunha, Rosiane L. 2006. The effect of addition of calcium and processing temperatura on the quality of guava in syrup. *International Journal of Food Science and Technology*. 41, 417-424.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (SAGARPA). 2010. México.
- Singh, M., Dhawan, K. and Malhotra, S. 2000. Carbohydrate metabolism in Tomato (*Lycopersicon esculentum* L. Mill) fruits during ripening. *J. Food Sci. Technol.* 37:222-226.
- Toutenburg, H. 2002. Statistical analysis of designed experiments (2nd Ed). New York, Springer-Verlag.
- Tu, K., and Baerdemaeker, J. 1997. A study of prestorage heat treatment effect on apple texture: destructive and nondestructive measurements. *Journal of Food Procesing and Preservation*. 21, 495-506.
- Varela, P., Salvador, A. and Fiszman, S. 2007. Changes in apple tissue with storage time: Rheological textural and microestructural analyses. *Journal of Food Engineering*.78(2007) 622-629.
- Yang, C. C., and Chinnan, M. S. 1987. Modeling of color development of tomatoes in modified atmosphere storage. *Transaction of the American Society of Agriculture Engineers*. 30(2), 549-553.
- Yusof, S. and Mohamed, S. 1987. Physicochemical changes in guava (*Psidium guajava* L.) during development and maturation, *J. Sci. Food Agri*. 38,31-39.
- Wang, C. Y. and Buta, G. 1994. Methyl jasmonate reduces chilling injury in *curcubita pepo* through its regulation of abscisic and polyamine levels. *Enviromental an Experimental Botany* 43(4):427-432.
- Wang, J., Teng, B., and Yu. Y. 2004. Pear dynamic characteristics and firmness detection. *Eur Food Res. Thecnol.* 218:289-294
- Wang, J., Hernández-Gómez, A., and Garcia-Pereira, A. 2006. Acoustic impulse response for measuring firmness of mandarin during storage. *Journal of Food Quality* 29(2006) 392-404.

