

# UNIVERSIDAD DE SONORA

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y  
GANADERÍA

Velocidad de maduración de frutos de mango cv. Keitt tratados  
con 1-MCP y Etileno

TESIS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

BENITO PEÑA ALVAREZ

Junio 2004

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

VELOCIDAD DE MADURACIÓN DE FRUTOS DE MANGO CV. KEITT  
TRATADOS CON 1-MCP Y ETILENO

**TESIS**

Sometida a la consideración del  
Departamento de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

Por

Benito Peña Alvarez

Como requisito parcial para obtener  
El grado de Maestro en Ciencias en Horticultura

Enero de 2004

Esta tesis fue realizada bajo la Dirección del Consejo Particular aprobada y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

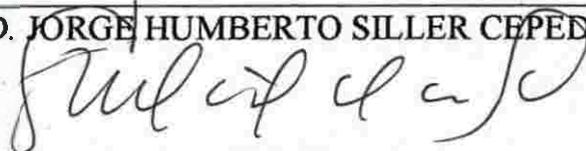
**CONSEJO PARTICULAR:**

DIRECTOR:



PhD. JORGE HUMBERTO SILLER CEPEDA

ASESOR:



M.S. SERGIO GARZA ORTEGA

ASESOR:



M.C. ARTURO RAYA SAAVEDRA

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma de Sinaloa por apoyarme y darme la oportunidad de superación.

Al Personal de la Maestría en Horticultura del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, por los conocimientos que me brindaron a través de sus cátedras.

Al personal del laboratorio de calidad de CIAD A.C. Unidad Culiacán, reconociendo el apoyo que me otorgaron para la realización de mi trabajo de tesis en su fase de laboratorio las IBQ Evelia Araiza y Laura Contreras.

En especial agradezco a la Doctora Ma. Dolores Muy Rangel su paciencia y asesoría en la fase de elaboración del escrito así como sus observaciones y consejos respecto al tema abordado.

## DEDICATORIAS

A mis queridos padres Ambrosio<sup>†</sup> y Maria del Carmen<sup>†</sup> donde quiera que estén.

A mis Hijos Rosa Erika, Yaut Paín, Luis Angel y Marco Cesar.

A mi esposa Margarita por todo su cariño y paciencia

## CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	x
<b>RESUMEN</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	4
<b>LITERATURA REVISADA</b> .....	5
Generalidades del cultivo de mango .....	5
Características taxonómicas .....	6
Anatomía y morfología .....	6
Fruto .....	6
Flores .....	7
Importancia económica .....	8
Internacional .....	8
Nacional .....	8
Estatal .....	9
Composición y valor nutritivo .....	10
Índices de maduración .....	11
Índice de cosecha .....	12
Fisiología poscosecha .....	17
Respiración .....	17
Etileno .....	19
Efectos de aplicación del etileno .....	20
Modo de acción del etileno .....	22
1-Metilciclopropeno (1-MCP) .....	22
Modo de acción del 1-MCP .....	25
Influencia de la temperatura en la vida poscosecha del mango .....	25
Indicadores de calidad en frutos de mango .....	27
Firmeza .....	27

Color.....	30
Pérdida de peso .....	32
Relación grados Brix/Acidez .....	32
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
Material vegetativo y tratamientos .....	34
Etapa de almacenamiento .....	34
Pérdida de peso .....	35
Firmeza .....	35
Color interno y externo .....	35
pH .....	36
Sólidos solubles totales (°Brix) .....	36
Acidez titulable (%AT) .....	36
Respiración .....	37
Análisis estadístico .....	37
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>38</b>
Variables de naturaleza química .....	38
pH .....	38
Sólidos solubles totales (SST) .....	40
Acidez titulable (%AT) .....	43
Relación Brix/ Acidez (RBA) .....	46
Variables de naturaleza física .....	48
Pérdida de peso .....	48
Firmeza .....	50
Color de cáscara .....	53
Luminosidad (L) .....	53
Cromaticidad (C) .....	54
Ángulo de matiz (°Hue) .....	55
Color de pulpa .....	58
Luminosidad (L) .....	58
Cromaticidad (C) .....	60
Ángulo de matiz (°Hue) .....	61
Variables de naturaleza fisiológica .....	63
Respiración .....	63

<b>CONCLUSIONES</b> .....	65
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	66
<b>APÉNDICE</b> .....	75

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Superficie cultivada, producción y volumen exportado de mango período 1990- 2001 .....	9
2. Composición de la fruta de mango descrita por Yahia (1997).....	11
3. Cambios que pueden ocurrir durante la maduración de los frutos.....	13
4. Cambios en algunos de los principales constituyentes químicos del mango durante la maduración .....	14
5. Indicadores de madurez de las principales variedades de mango.....	16
6. Valores de pH en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, almacenados a temperaturas de 20 °C.....	38
7. Valores de SST en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, almacenados a temperaturas de 20 °C .....	41
8. Valores de acidez titulable en frutos de mango tratados con 1-MCP, ethrel y testigo almacenados a 20 °C por 21 días.....	43
9. Valores de RBA en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, almacenados a temperaturas de 20 °C por 21 días.....	46
10. Valores de firmeza en frutos tratados con 1-MCP, ethrel y testigo posteriormente almacenados a 20°C.....	51
11. Valores de cromaticidad de la cáscara en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados 20 °C.....	54
12. Valores de ángulo de matiz (°Hue) de color de cáscara en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados 20 °C.....	56
13. Valores de luminosidad de color de pulpa en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados 20 °C.....	58
14. Valores de cromaticidad de color de pulpa en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados 20°C.....	60
15. Valores de °Hue en pulpa de frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados 20 °C. ....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Cuadro	Página
1. Comportamiento de PH en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.....	40
2. Comportamiento de sólidos solubles totales (SST) en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20°C.....	42
3. Comportamiento de acidez titulable (%) en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.....	44
4. Comportamiento de la relación Brix/Acidez en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.....	48
5. Comportamiento de pérdida de peso en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo almacenados a 20 °C.....	49
6. Comportamiento de firmeza en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.....	53
7. Comportamiento de cromaticidad de cáscara en frutos de mango tratados con 1- MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.....	55
8. Comportamiento de °Hue de cáscara en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.....	57
9. Comportamiento de luminosidad e pulpa en frutos de mango tratados con -MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.....	59
10. Comportamiento de cromaticidad de pulpa en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20°C .....	61
11. Comportamiento de ángulo de matiz en pulpa en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.....	63
12. Comportamiento respiratorio en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, almacenados a 20 °C.....	64

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar estrategias que permiten el manejo de la maduración en frutos de mango. Para caracterizar la respuesta de frutos de mango a las aplicaciones de 180 ppb de 1-MCP y de 1000 ppm de Ethrel, se seleccionó de manera aleatoria, un grupo de frutos de mango del cv. Keitt en un estado de madurez verde-sazón. Los frutos de este estudio fueron obtenidos en el verano del 2001 de un empaque comercial ubicado en el Municipio de Escuinapa, Sinaloa. Para aplicar los tratamientos, los frutos fueron divididos en números iguales dentro de 3 grupos. El primer grupo de frutos fue colocado en un cuarto sellado a temperatura ambiente, en donde se libero en forma de gas el 1-MCP (SmartFresh™) a una concentración de 180 ppb durante 12 horas. El segundo grupo de frutos, fue tratado durante 5 minutos en una inmersión líquida de un liberador de etileno (Ethrel™) preparada a una concentración de 1000 ppm. El tercer grupo, con un número igual de frutos se utilizó como testigo, el cual no recibió ningún tratamiento. Posterior a los tratamientos, un grupo de frutos representativo de los 3 tratamientos aplicados, se colocó directamente en una cámara con temperatura constante de  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$  y una humedad relativa de 85%, por un período de 21 días, simulando condiciones de mercadeo. La tasa de respiración y la producción de etileno fue evaluada diariamente. La pérdida de peso, los valores de pH, contenido de sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable, relación Brix/Acidez, y el color externo e interno fueron evaluados a los 0, 3, 7, 14 y 21 días bajo las condiciones señaladas. Para el análisis de los datos, se utilizó un diseño factorial de bloques completos al azar y en caso de diferencia significativa, se realizó una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey al 5%.

Los resultados obtenidos al medir la pérdida de peso durante el período de almacenamiento en los frutos evaluados, mostró que los frutos tratados con el Ethrel alcanzaron una mayor pérdida de peso la cual fue diferente estadísticamente comparada con los frutos tratados con 1-MCP y testigo. Los frutos tratados con 1-MCP presentaron valores de pH significativamente menores

que los testigos y los tratados con ethrel durante el periodo de almacenamiento. La acidez titulable fue significativamente más alta en los frutos tratados con 1-MCP, en comparación con los frutos testigo y tratados con Ethrel. El comportamiento respiratorio de los frutos tratados con 1-MCP se caracterizó por un retraso en la aparición del pico climatérico, así como una menor tasa respiratoria a lo largo del experimento, comparado con los frutos tratados con Ethrel y los frutos testigo. Por el contrario, los frutos tratados con Ethrel mostraron un adelanto en el momento en que se alcanza la máxima cantidad de CO<sub>2</sub> (pico climatérico) y su tasa respiratoria fue mas elevada en comparación con los frutos tratados con 1-MCP.

Los efectos de la aplicación del liberador de etileno (Ethrel) para adelantar la maduración, fueron evidentes sobre la firmeza de los frutos, ya que esta se vio significativamente disminuida a partir de las primeras evaluaciones y durante todo el periodo de almacenamiento. La firmeza de los frutos testigo y tratados con 1-MCP no fue diferente durante el estudio. Con respecto al efecto de los tratamientos sobre el color de pulpa, los resultados muestran que los frutos tratados con 1-MCP atrasaron el desarrollo de color presentando valores más altos del ángulo de matiz (°Hue) y de luminosidad. Por el contrario, los frutos tratados con Ethrel aceleraron su maduración mostrando un rápido desarrollo de color de cáscara, así como de color interno (color más saturado con valores menores de °Hue), los cuales fueron significativamente diferentes de los frutos tratados con 1-MCP. La relación brix/acidez mostró que los frutos tratados con Ethrel alcanzan los valores más altos, mientras que los tratados con 1-MCP presentaron los valores más bajos. Los resultados obtenidos demuestran que es manipular la velocidad de maduración con respecto a los frutos testigos. Cuando se necesite extender la vida de anaquel, la aplicación de 1-MCP es una herramienta valiosa para los agricultores. Si los mercados están demandantes y se necesita adelantar y uniformizar la maduración de los frutos de mango, la aplicación de Ethrel permite lograr este objetivo. Adicionalmente, esta última alternativa facilitará el proporcionar frutos de mango más uniformes en su grado de madurez para las necesidades de la industria de jugos y concentrados de esta fruta.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate strategies that allow manipulation of ripening on mango fruits. To characterize the response of "Keitt" cv. mango fruits to 1-MCP and Ethrel, a group of fruits was randomly selected at physiological maturity stage (green mature stage) from a commercial packinghouse located at Esquinapa, Sinaloa on summer 2001. To apply the treatments, fruits were divided in three groups of equal number. First group of fruits were treated on a sealed room at ambient temperature releasing 180 ppb of 1-MCP (SmartFresh™) for 12 hours. Second group of fruits were treated by immersion on a liquid Ethrel™ solution for five minutes at 1000 ppm. Third group of equal number of fruits were left untreated and used as a control. After treatments, fruits of the three groups were stored directly under simulated marketing conditions at  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$  and 85% relative humidity in a controlled chamber for 21 days. Respiration rate and ethylene production were monitored daily. Weight loss, pH, soluble solids content, titratable acidity, sugar/acidity ratio, and external e internal color were evaluated at 0, 3, 7, 14 and 21 days under the simulated marketing conditions. Data analysis was done using a factorial design within a complete randomized block. In case of a significant difference, a mean comparison test using Tukey at 5% was utilized.

Weight loss at the end of the study was higher and statistical different on Ethrel treated fruits as compared with 1-MCP and Control fruits. pH was higher and titratable acidity was lower in 1-MCP treated fruits and significantly different from control and Ethrel treated fruits. Climateric peak was delayed and respiration rate was lower thru 12 days on 1-MCP treated fruit. On the other hand, Ethrel treated fruits showed an advance on climateric peak appearance (maximum  $\text{CO}_2$  production) and respiration rate was higher as compared with control and 1-MCP treated fruits. Ethylene release compound (Ethrel) effects were evident on advancing ripening as firmness decreased immediately after the treatment and was lower during all the experiment as compared with the other treatments. Firmness of 1-MCP treated fruits and control fruits were not significant different. Internal color development was affected by the treatments. 1-MCP delayed color

development showing higher Hue angle values and Luminosity as compared with control and Ethrel treated fruits. Ethrel accelerate ripening on treated fruits as showed by a fast external and internal color development (lower Hue values) and was significant different from control and 1-MCP treated fruits. Sugar/acidity ratio was higher on Ethrel treated fruits, while 1-MCP treated fruits obtained the lower values. Data demonstrate that mango ripening could be delayed with 1-MCP or advanced with Ethrel according to the necessities. If a grower needs to extend shelf-life, application of 1-MCP could be used as a tool to delay ripening. If market conditions are demanding mature product, Ethrel applications could advance and uniform mango fruit ripening. To the industry, the last strategy will facilitate to process more fruit, since uniformity and ripe mango fruits are required for juice and concentrate products.

## INTRODUCCIÓN

El fruto de mango (*Mangifera indica* L.) es de los más apreciados en las zonas tropicales del mundo, debido principalmente a su exquisito aroma y sabor. A nivel mundial, el mango es el tercer cultivo tropical en importancia, solo superado por el plátano y la piña (Galán, 1990).

Las pérdidas en cantidad y calidad afectan los cultivos hortícolas entre la cosecha y el consumo. La magnitud de las pérdidas poscosecha en frutos frescos y hortalizas es estimada de un 5 al 20 por ciento en países desarrollados y del 20 al 50 por ciento en países en desarrollo (Kader, 2002). Para reducir esas pérdidas, los productores y manipuladores de los productos deben entender los factores biológicos y ambientales involucrados en su deterioro y el uso de técnicas de poscosecha que retarden la senescencia y mantengan la mejor calidad posible. Dentro de los factores biológicos involucrados en el deterioro de la fruta se encuentran la respiración, la producción de etileno, cambios en la composición, la transpiración, el crecimiento y desarrollo, las rupturas fisiológicas, el daño físico y las rupturas patológicas. Los factores ambientales que influyen en el deterioro son: la temperatura, la humedad relativa, la composición atmosférica, el etileno, la luz, y varias clases de químicos como los fungicidas y los reguladores de crecimiento (Duarte, 1988).

El comercio local e internacional del mango fresco está limitado debido a su naturaleza altamente perecedera y a su susceptibilidad a enfermedades, temperaturas extremas y daños físicos. El fruto puede requerir de 3 a 9 días para madurar y este corto periodo limita seriamente su comercialización a mercados distantes, por lo cual debe ser consumido pronto después de la cosecha. En muchos países productores existe anualmente una abundancia seguida por periodos de escasez. Por todas estas razones, el mango es todavía considerado como un producto caro y de lujo en muchos países industrializados (Gómez, 1997).

Debido a las características que le confieren una corta vida de poscosecha el fruto de mango ha sido objeto de estudios que tienen como finalidad establecer cuales son las condiciones mas apropiadas que le permitan alargar su vida de anaquel. La mayoría de estos estudios se basan en el manejo de las atmósferas modificadas a bajas temperaturas, reducción de oxígeno y adición de bióxido de carbono como el método mas comúnmente empleado para disminuir la tasa respiratoria de la fruta (Thompson, 1971; Thomas, 1975; Roe y Bruemmer, 1981; Thomas y Oke, 1983; Medlicott *et al.*, 1990; Zauberman *et al.*, 1988). También se han probado métodos a base de ceras o películas comestibles (Baldwin *et al.*, 1999; Carrillo *et al.*, 2000), así como la aplicación de productos químicos que tienen como función retardar la acción del etileno, como es el caso del compuesto denominado 1-metilciclopropeno (1-MCP) (García *et al.*, 2001). Con el mismo fin, Siller *et al.* (1994), evaluaron nuevos materiales de mango los cuales presentaron algunas ventajas en cuanto a su calidad y vida poscosecha.

El manejo poscosecha del mango implica una serie de prácticas y medidas que son de vital importancia para alargar la vida de anaquel del producto (Báez, 1998). Sin embargo, su comercialización no depende únicamente de que el producto conserve una larga vida de anaquel para consumo fresco. En ocasiones se requiere adelantar la maduración por situaciones de mercado o para uniformizar la maduración, cuando la fruta se destina a la industrialización. Esto requiere conocer como aplicaciones externas de etileno en forma líquida o gaseosa influyen en adelantar el proceso de maduración para lograr estos fines.

Por tal motivo el presente trabajo tuvo como objetivos estudiar los efectos que tienen la aplicación de 1-MCP y etileno (ethrel) sobre la velocidad de maduración de frutos de mango, los cambios que inducen sus características de calidad así como en su vida de anaquel cuando son almacenados bajo condiciones de simulación de mercadeo a temperaturas de 20 °C y 85 % de humedad relativa.

La aplicación de 1-MCP, pretende conocer el efecto que este producto tiene en retardar la maduración y extender su vida de anaquel, mientras que la aplicación de ethrel esta enfocado en conocer como este producto permite adelantar y uniformizar la maduración para obtener fruta lista para consumo y/o destinada a la industria.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivos generales**

Caracterizar la respuesta física, química y fisiológica de frutos de mango tratados con 1-MCP almacenados bajo condiciones de simulación de mercadeo y en efecto en extender la vida de anaquel.

Conocer la respuesta física, química y fisiológica de frutos de mango tratados con ethrel almacenados bajo condiciones de simulación de mercadeo y en efecto adelantar y uniformizar la maduración.

### **Objetivo específicos**

Extender al menos por 3 días la vida de anaquel de frutos de mango tratados con 1-MCP.

Adelantar por 3 días la maduración de frutos de mango cuando son tratados con ethrel.

Desarrollar información sobre tecnologías factibles que permitan manipular la velocidad de maduración de frutos de mango y que pueda ser utilizada por los productores

## LITERATURA REVISADA

### Generalidades del cultivo del mango

El mango (*Mangifera indica* L.) es Originario de la región Indo-Birmana y es uno de los frutos tropicales legendarios cultivado desde hace mas de 4000 años. A la fecha es el fruto mas popular entre millones de personas en el oriente, donde es apreciado como el mejor de los frutos nativos (Hulme, 1971).

El mundo occidental se relacionó con el mango e inició su actual distribución mundial con la apertura por los portugueses de las rutas marítimas hacia el Lejano Oriente. Esta fruta se llevó de Indochina a la Isla de Mindanao y a Sulus por el siglo XIII, siendo a fines del siglo XIV y principios del XV que los viajeros españoles la llevaron desde la India a Filipinas, en Luzón. Mientras tanto los portugueses en Goa cerca de Bombay transportaron la fruta de mango al sur de África, de ahí hacia Brasil alrededor del siglo XVI y unos 40 años después a la Isla de Barbados. Del mismo modo, los españoles introdujeron este cultivo a sus colonias tropicales del Continente Americano por medio del tráfico entre las Filipinas y la Costa Oeste de México. Por los siglos XV y XVI Jamaica importó sus primeros mangos de Barbados y las otras islas de las Indias Occidentales hacia 1782. Al principio del siglo XVII los mangos fueron llevados de México a Hawai en 1809 y a California alrededor de 1880, mientras que la primera plantación permanente en Florida data de 1861 (Ochse *et al.*, 1976; Mata y Mosqueda, 1988).

La introducción a México de los cultivares Keitt, Haden, Kent, Irwin, Zill y Sensation se hizo en la década de los años 50, directamente del estado de Florida E.U.A. al estado de Guerrero; estos se propagaron por injerto y se diseminaron por los estados del pacifico centro y norte primero, posteriormente hacia las regiones tropicales

del país. Esto marcó el inicio de la producción moderna de mango en el país (Mosqueda *et al.*, 1996).

### Características taxonómicas del mango

El cultivo del mango se clasifica de la siguiente manera:

División:	Espermatophyta
Clase:	Angiospermae
Sub-clase:	Dicotyledoneae
Orden:	Sapindales
Familia:	Anacardiaceae
Género:	Mangifera
Especie:	indica
Cultivar:	Keitt

( Galan S., 1999).

### Anatomía y morfología

#### Fruto

El fruto de mango es una drupa aplanada, de forma variable entre redonda a ovalada oblonga, con longitudes de 5 a 30 cm. El color de la cáscara puede ser amarillo, anaranjado o verde, con chapeos de colores que pueden oscilar de entre rojo claro a morado oscuro. El "pico" es una de las características que distingue el fruto de mango, el cual es una pequeña proyección cónica desarrollada lateralmente en el extremo de la fruta. La cáscara (exocarpio) es normalmente lisa con lenticelas en forma de pequeñas manchas o corchosas circulares de color blanco, amarillo y hasta café (dependiendo del estado de madurez). La pulpa (mesocarpio) es de color amarillo anaranjado y ocupa del 65 al 85% de peso total de la fruta. La semilla (endocarpio) es normalmente de un tamaño grande y cubierta con una capa fibrosa, delgada y dura (Yahia, 1997). En lo que se refiere a calidad, el fruto está calificado de bueno a excelente y su forma es ovalada, de base redonda, de tallo grueso insertado ligeramente en forma diagonal, además a

nivel o ligeramente sobresaliente; la punta redonda sin pico y de superficie lisa. de 13 a 15 cm. de largo, 9 a 11 cm. de ancho y un grosor de 8.5 a 9 cm., su peso va desde 510 g a 2 kg; la cáscara en la parte basal es de un color verdoso-amarillo; rojo o rosado, con numerosos puntos blancos o amarillos con la piel gruesa, dura y adherente; la pulpa es firme y jugosa de color amarillo limón, el sabor dulce suave, con una agradable aroma; el hueso es grueso y fibroso, con una semilla monoembrionica, que llena del 30 al 50% del hueso (Cambell, 1992).

Yahia (1997), describe el fruto de mango de la variedad Keitt como una fruta grande de 15 cm. de largo y de hasta 1 Kg. de peso, con forma oval, redondeada y gruesa. El color de fondo es amarillo con zonas ligeramente rosas. La cáscara contiene numerosas lenticelas pequeñas de color amarillo a rojo. La pulpa es jugosa sin fibra, excepto cerca de la semilla, de sabor dulce y calidad muy buena. La semilla es pequeña de 7 a 8.5% del peso total de la fruta. Se transporta bien y es uno de los mejores mangos tardíos.

#### Flores

La inflorescencia es una panícula terminal, ramificada, con un número de flores que según diversos autores varia entre 200 y 10,000. En una misma panícula se producen flores masculinas y perfectas, siendo el número de estas variables entre el 0% y el 100% según condiciones climáticas y cultivares. Ambos tipos de flores poseen de 4 a 5 sépalos pequeños y verdes y 5 pétalos pequeños y de color variable, pero de tonos rojos, verdes o amarillos. Las flores masculinas poseen un estambre funcional acompañado de 4 estaminoides. Mientras que las flores masculinas carecen de ovario, éste, en la flor perfecta es súpero, globoso, brillante y amarillento, siendo el estilo curvado hacia arriba y liso con un solo estigma. En los climas subtropicales la floración puede ocurrir desde finales de otoño hasta fin de primavera, aunque se concentra fundamentalmente hacia la segunda mitad del invierno, siendo también frecuentes los fenómenos de erratismo. Las flores del mango usualmente empiezan a abrirse por la noche y al comienzo del día alcanzando la máxima apertura entre las 8 y las 12 del día, la receptividad del estigma dura desde algunas horas antes de la antesis hasta 72 horas después de ella, siendo máxima alrededor de 6 horas tras la apertura (Galán, 1999).

## Importancia económica

### Internacional

La producción mundial de mango actualmente es de 22.27 millones de toneladas métricas, en una superficie aproximada de 2.1 millones de hectáreas. El 84% de la producción se concentra en 8 países, entre los cuales destaca primordialmente la India, China, Tailandia, México, Indonesia, Pakistán, Brasil, y Filipinas. En el periodo de 1990 a 1997 la producción mundial se incrementó en 32.8%, lo cual significa que creció a una tasa del 4.1% anual (Palacios y García, 1997).

### Nacional

México ocupa uno de los principales lugares a nivel mundial en la producción de mango y es el primero en la exportación de este producto con 35, 507, 140 cajas de 4.5 (10 lb) enviadas durante 1997 (Báez, 1998).

A nivel nacional la superficie de Mango reportada por SAGARPA, (2001) es de 120,400 has. Los principales estados productores en orden de importancia son: Michoacán (24,000 has), Nayarit (19,000 has), Guerrero y Sinaloa (18,000 has. c/u), Jalisco (5,500 has.), Colima (4,400 has.) y Oaxaca (1,500 has.).

En el año 2001 se exportaron a los Estados Unidos 167,282 ton y a otros países como Canadá, Comunidad Europea, Japón, Nueva Zelanda, Australia y Chile la cantidad exportada fue de 24,095 ton. Los 3 estados exportadores de mayor importancia son: Sinaloa con 60,664 ton, Michoacán con 52,646 ton y Nayarit con 36,557 ton. (SAGARPA, 2001).

## Estatal

El período de cosecha de mango en el estado de Sinaloa se inicia desde mediados del mes de junio con los cultivares Haden y Tommy Atkins en el sur, y termina a mediados de septiembre con el cultivar Keitt en el norte.

En Sinaloa la superficie cultivada, la producción y el volumen de exportación de mango se ha venido incrementando en la última década (Cuadro 1).

Cuadro 1. Superficie cultivada, producción y volumen exportado de mango período 1990-2001.

CONCEPTO	1990	1992	1994	1996	1998	1999	2000	2001
Superficie Has.	10,182	13,065	14,095	15,740	16,500	17,000	18,225	18,225
Producción Ton.	79,069	88,162	91,145	102,967	120,800	122,500	172,000	180,000
Exportación Ton.	17,483	21,426	36,911	35,470	46,940	47,800	53,540	60,664
%Fruta Exportada	22	24	35	34	39	39	31	33

Fuente: SAGARPA, (2001).

La CAADES (2001), (Confederación de Asociaciones Agrícolas del Estado de Sinaloa) en sus reportes correspondientes a las temporadas 1998-1999 y 1999-2000 menciona 15,907 y 18,481.157 toneladas exportadas, según reportes para la temporadas 1998-1999, 1999-2000.

En el estado existen 20,628 has, dedicadas a frutales, se tienen registrados 1891 huertos de mango con 1795 productores, esto representa una superficie de 182,25 has, lo que significa que el 87.68% de la superficie total dedicada a la fruticultura se encuentra ocupada por el cultivo de este frutal. Otras frutas cultivadas en orden de importancia son: la Ciruela con 1,486 ha (7.14%), los cítricos con 889 ha (4.27%) y la guayaba con 28 ha (0.13%). Para beneficiar el producto una vez cosechado se tienen

registrados 19 empaques y para su industrialización 3 empresas agroindustriales (SAGARPA, 2001).

Ireta y Guzmán (2001), plantean que los bajos rendimientos que se registran en Sinaloa (10.5 ton/ha) reflejan que hay rezagos tecnológicos que limitan la productividad del cultivo. Algunas causas de esta baja productividad son:

- \* Poca aplicación de tecnología existente por incosteabilidad (bajo precio de la fruta) o por falta de información de los productores.

- \* La insuficiente o nula organización de los productores para comercializar la fruta

- \* Insuficiente apoyo a la investigación y/o validación de tecnologías apropiadas para cada una de las regiones.

Entre los factores que inciden en la baja productividad del mango señalan las bajas temperaturas que ocurren durante la floración y amarre del fruto, predominancia de cultivares con hábitos de producción alterna y un mal manejo de las plantaciones y la fruta en pre y poscosecha.

### Composición y valor nutritivo

La fruta del mango es de bajo valor nutritivo (Cuadro 2); sin embargo contiene 600 ui de vitamina "A" (en 100 g. de pulpa) siendo una de las frutas más ricas en esta vitamina pues aporta el 15% diario de los requerimientos de un adulto. El contenido de proteínas es bajo. Algunos de los aminoácidos esenciales presentes incluyen lisina, leucina, valina, arginina y fenilalanina. La vitamina C es de alto contenido en la cáscara. En la pulpa esta disminuye en forma paulatina conforme avanza la maduración del fruto;  $\beta$ -Carotenos (pro vitamina A) es alrededor del 60% del contenido total de las carotenoides. Sin embargo, alrededor de 15 compuestos de carotenoides son identificados en el mango. El almidón en la pulpa aumenta constantemente a partir de la cuarta semana aproximadamente. La acidez titulable aumenta hasta la mitad del desarrollo del fruto para luego disminuir abruptamente en las etapas finales de desarrollo. La relación de

azúcares no reductores (sacarosa) a los azúcares reductores se incrementa durante la maduración de la fruta (Mata y Mosqueda, 1988).

El aroma de la fruta se debe a varios compuestos químicos que caracterizan a ésta, dependiendo de su estado de desarrollo.

Cuadro 2. Composición de la fruta de mango descrita por Yahia (1997).

Agua	79-84
Sólidos solubles totales(%)	16-21
Azúcares totales (%)	13.5-21.0
Azúcares reductores	3.2-6.8
Azúcares no reductores	6.0-12.0
Acidez(%)	0.11-0.80
pH	3.8-5.8
Vitamina C (mg/100g)	14-60
Carotenos totales (mg/100g)	900-9000
Beta carotenos (mg/100g)	270-4700
Tiamina (mg/100g)	0.08
Riboflavina (mg/100g)	0.09
Niacina (mg/100g)	0.9
Proteínas (%)	0.6
Grasa(%)	0.4
Fibra cruda(%)	0.7
Minerales(%)	0.4

### Índices de maduración

La definición de madurez como el estado de desarrollo teniendo un mínimo de calidad aceptable para el consumidor final, implica un punto de medición en el desarrollo del producto y la necesidad de técnicas para medir la maduración. El índice de

madurez para un producto es una medida o un conjunto de mediciones que pueden ser usadas para determinar si una muestra del producto está maduro. Esos índices son importantes para el comercio en frutos frescos y vegetales por varias razones, entre las que se pueden citar las regulaciones del comercio y las estrategias de mercado (Reid, 1992).

La vida de las frutas y hortalizas puede dividirse en 3 etapas fisiológicas fundamentales subsiguientes a la germinación: el crecimiento, la maduración y la senescencia, sin que sea fácil establecer una clara distinción entre las tres. El crecimiento implica la división celular y el subsiguiente desarrollo de las células que dan cuenta del tamaño final alcanzado por el producto. La maduración fisiológica suele iniciarse antes de que termine el crecimiento e incluye diferentes actividades en diferentes productos. Al crecimiento y la maduración fisiológica suele hacerse referencia hablando de desarrollo. La senescencia se define como la fase en que los procesos bioquímicos anabólicos (sintéticos) dan paso a los catabólicos (degradativos) conduciendo al envejecimiento y finalmente la muerte tisular (Wills *et al.*, 1998).

Durante la maduración de las frutas ocurren toda una serie de cambios que hacen que esta adquiera las características que el consumidor prefiere. Algunos de estos cambios son descritos en el cuadro 3. Así mismo, en el cuadro 4, se muestran los cambios que presenta el mango en distintos estados de madurez.

#### Índice de Cosecha

Los indicadores del mejor momento para cosechar revisten gran importancia debido a que de ello depende en buena medida el comportamiento de los frutos en su vida poscosecha. Lakshminarayana (1976), demostró en frutos de tres variedades (Haden, Irwin y Kent), cosechados en dos estados de madurez (madurez fisiológica y estado sobremaduro), el efecto que esto tiene en la vida de anaquel. Después de cosechados los frutos almacenados a temperatura de 25°C y humedad relativa de 65 a 70%. Los frutos fueron cosechados en madurez fisiológica mostraron un climaterio respiratorio normal, madurando en un periodo de 9 a 10 días, también mostraron una mejor relación ácido-

azúcar y buenas cualidades comestibles, junto con una mejor textura y color además de que se conservaron bien por un período mayor de tiempo. Por otro lado, las frutas que se cosecharon sobremaduros no mostraron climaterio respiratorio, teniendo una maduración no uniforme con una baja relación ácido azúcar, desintegración de los tejidos y una vida mas reducida de almacenamiento.

Cuadro 3. Cambios que pueden ocurrir durante la maduración de los frutos

Maduración de las semillas
Cambios de color
Abscisión (desprendimiento de la planta)
Cambios en la actividad respiratoria
Modificaciones en el ritmo de producción de etileno
Modificaciones en la permeabilidad tisular
Ablandamiento: cambios en la composición de las sustancias pécticas
Cambios en la composición de los hidratos de carbono
Modificaciones en los ácidos orgánicos
Cambios en las proteínas
Producción de sustancias aromáticas
Desarrollo de cera en la piel

(Wills *et al.*, 1998).

Popenoe *et al.* (1957), encontraron en un estudio desarrollado en relación a los indicadores bioquímicos para determinar la maduración en las variedades Zill y Haden, que el almidón y el peso específico de los frutos fue mayor en los frutos verdes, en comparación con los maduros, sucediendo lo contrario en los resultados de sólidos solubles totales. Ellos concluyeron que la medición del porcentaje de almidón en la pulpa fue el mejor método para estimar el grado de maduración en frutos verde maduro.

Hulme (1971), menciona cuatro estados de maduración basados en el color, forma y tamaño de los frutos. Esos estados se designan como: A) en este estadio los frutos tienen

sus hombros alineados con el tallo, el color de la cáscara es verde olivo y está poco desarrollado, B) sugerido como el mejor estadio para la exportación y se da cuando los hombros tienen mayor grosor que la parte final del tallo, C) el color es ligeramente amarillo, mientras que en el estado D el fruto está completamente maduro, con un brillo típico en la cáscara.

Cuadro 4. Cambios en algunos de los principales constituyentes químicos del mango durante la maduración

Constituyente	Inmaduro	Parcialmente Inmaduro	Maduro
Almidón (g%)	14	N.D.	0.3
Celulosa (g%)	492 ± 1.05	2.0 ± 1.5	1.12 ± 0.2
Pectina (g%)	0.81±0.24	0.65±0.19	0.35±0.19
Azúcares totales (g%)	7	N.D.	17
Sacarosa (g%)	2.4±1.6	5.5±4.0	8.0±3.6
Glucosa (g%)	1.6±0.66	2.2±0.4	3.5±1.12
Fructosas (g%)	1.97±1.4	3.04±1.6	5.6±3.1
Pentosas (g%)	0.103±0.07	0.224±0.15	0.469±0.06
Acidez (g%)	4.1±0.69	3.73±0.1	0.293±0.17
Ácido málico (g%)	0.894±0.4	0.186±0.18	0.014±0.07
Ácido Cítrico (g%)	3.2±0.95	3.5±0.42	0.28±0.17
Ácido Ascórbico (g%)	0.250	0.090	0.100
Lípidos Totales (g%)	0.200-0.268	N.D.	0.60-0.800
Ácidos Grasos (g%)	0.096-0.140	N.D.	0.432-0.570
Caroteno (µg%)	488	N.D.	3520
Geraniol (µmoles/g)	1.5±0.6	3.6±1.7	8.2±2.3

N.D. No determinado. Pantástico (1979).

Pantástico (1979), afirma que el llenado de las "mejillas", los cambios de color en el extremo del pedicelo, el crecimiento de "vello" en la semilla y el desarrollo de lenticelas en el fruto, son algunos de los cambios que se asocian con la maduración de los mangos.

Para Samson (1991), el fruto se cosecha cuando empieza a cambiar de color o después de que algunos frutos maduros han caído del árbol. Dependiendo de su destino comercial, en caso del mercado local se puede esperar a que el fruto empiece a suavizarse sin embargo, para transportarlo por tren o barco debe cosecharse cuando aún esté verde y firme. El mismo autor recomienda para cosechar un total de sólidos solubles de al menos 12 °Brix y una densidad relativa de 1.01 a 1.02.

Para Báez (1998), determinar el grado de madurez con que se va a cosechar el fruto de mango, ha sido siempre una de las grandes disyuntivas de los productores. El menciona que la búsqueda constante de parámetros que ayuden a determinar el momento propicio para cosechar es importante, ya que de ello depende en gran medida la vida útil de los frutos en los mercados, es desde esta perspectiva que surge el término conocido como índice de cosecha, el cual está en función de características muy específicas de la fruta y que también depende de la variedad y el destino de consumo. Así tenemos que frutos que se consumen en áreas cercanas a su producción son cosechados en estado de madurez avanzado pero cuando se envían a mercados lejanos su cosecha debe ser en estado de madurez fisiológica o sazón.

Dentro de los índices mas comúnmente utilizados en mango se encuentran los más empíricos como tamaño, facilidad de desprendimiento del fruto de la planta, firmeza al tacto y coloración. Otros son más específicos, como la determinación de la tasa respiratoria y producción de etileno. En México, se han establecido los mínimos de madurez necesarios para realizar la cosecha en las diferentes variedades de mango los cuales se presentan en el cuadro 5 (Báez, 1998).

Según la Norma de Calidad para Mango Fresco de Exportación, se recomiendan algunas especificaciones para cada categoría del fruto (EMEX A. C., 1998).

Fruto entero.

Ser de consistencia firme.

Tener un aspecto fresco.

Estar sanos, deberán excluirse los productos afectados por pudrición deterioro que impidan su consumo.

Estar limpios y prácticamente exentos de materias extrañas visibles.

Estar exentos de manchas o estrías necróticas, estar exentos de magulladuras profundas.

Estar prácticamente exentos de daños causados por plagas.

Estar exentos de daños causados por temperaturas bajas.

Estar exentos de humedad externa anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica.

Estar exentos de cualquier olor o sabor extraños.

Estar suficientemente desarrollados y presentar un grado de madurez satisfactorio, cuando tengan pedúnculo su longitud no deberá ser mayor a 1 cm.

Cuadro 5. Indicadores de madurez de las principales variedades de mango.

Variedad	Color de pulpa (Número)	Acidez Titulable (%)	Firmeza (kg-f)	S. S. T. (°Brix)	Días de madurez a la cosecha a 20°C
Tommy Atkins	1*	1.199	13.2	7.3	11
Haden	1	1.069	12.2	7.3	13
Kent	1	0.603	12.4	7.4	12
Keitt	1	0.715	11.0	6.6	13
Ataulfo	1	4.201	15.6	2.9	15

S.S.T. Sólidos solubles totales. \*. Madurez fisiológica. Fuente: Báez, (1998)

## Fisiología poscosecha

### Respiración

Las clases de carbohidratos en los frutos y hortalizas son los azúcares simples y el complejo de carbohidratos. La glucosa, fructuosa y sacarosa son los principales azúcares presentes. Los almidones están compuestos por largas cadenas de azúcares individuales, principalmente glucosa. Están localizados en gránulos conocidos como amiloplastos dentro de la célula. La fibra consiste en otra larga cadena de carbohidratos tales como pectinas, hemicelulosa y celulosa, las cuales están localizadas dentro de la pared celular del tejido de las plantas (Kader, 2002).

La respiración (oxidación biológica) es la ruptura oxidativa de los sustratos mas complejos normalmente presentes en la célula, tales como almidones, azúcares, y ácidos orgánicos, a moléculas simples ( $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ), con la concurrente producción de energía y otras moléculas, las cuales pueden ser usadas por la célula para reacciones sintéticas. Tales reacciones metabólicas son esenciales para el mantenimiento de la organización celular y la integridad de la membrana en células vivas (Kader, 1987). A la absorción de oxígeno y liberación de bióxido de carbono se le llama intercambio gaseoso y su cuantificación se utiliza para medir la actividad respiratoria. En la última fase de la maduración de los frutos de ciertas especies como el mango, la actividad respiratoria aumenta considerablemente, observándose un notable incremento en el consumo de oxígeno, a este evento se le denomina respiración climatérica, las frutas que presentan este comportamiento se les denomina frutas climatéricas (Kader, 2002).

Los frutos climatéricos al final del crecimiento presentan un incremento en la respiración, acompañado por cambios marcados en la composición y textura, mientras que los frutos no climatéricos no muestran cambios en la respiración que puedan ser asociados con distintos cambios en su composición. Otra característica que los distingue, es que la maduración en frutos climatéricos es asociada con un gran incremento en la producción de etileno; el incremento en la respiración y producción de etileno puede ser inducido prematuramente por tratamiento con adecuadas concentraciones de etileno u otro hidrocarburo insaturado (McGlasson, 1985).

La respiración de los frutos desencadena a su vez una serie de cambios químicos que dan como resultado cambios en el pH y un incremento en la concentración de azúcares. Krishnamurthy y Subramanyan (1970), midieron la respiración climatérica y los cambios químicos en frutos de mango cosechados en 3 diferentes estados de madurez fisiológica (inmaduro, con maduración óptima, y con maduración avanzada). Ellos encontraron que el climaterio máximo se presentó en el grupo de los frutos inmaduros a los 12 días después de la cosecha, mientras que en los grupos 2 y 3 esto ocurrió a los 9 días. La cantidad de CO<sub>2</sub> liberado fue también máxima en los frutos inmaduros (317 mg CO<sub>2</sub>/kg-h) en el pico climatérico, lo que indica una alta actividad metabólica asociada con el estado de desarrollo de la inmadurez fisiológica, mientras que en los frutos de maduración óptima y avanzada la producción máxima de CO<sub>2</sub> fue de entre 220 y 260 mg/kg-h.

Respecto a los cambios químicos ocurridos durante la respiración climatérica, los mismos autores reportan que el pH aumentó de 2.4 el primer día a 4.0 el día 12, los azúcares reductores de 1.7 a 4.0, la sacarosa de 0.4 a 8.3, los azúcares totales de 12.2 a 12.7 y las proteínas totales disminuyeron de 0.68 a 0.61 %.

La cantidad de O<sub>2</sub> en el entorno de los frutos afecta la vida poscosecha de los mismos, pues de ello depende la tasa respiratoria. Bender *et al.* (2000), midieron la tolerancia del mango variedades Haden y Tommy Atkins de diferentes estados de maduración a niveles altos y reducidos de oxígeno en almacenaje de atmósfera controlada y concluyeron que niveles bajos de 2 a 5 kPa O<sub>2</sub> a temperaturas de 12 a 15°C indujeron bajas tasas de respiración y altos niveles de producción de etanol, mismos que no provocaron altas tasa de producción de CO<sub>2</sub>, como ocurre típicamente con la respiración aeróbica. Los resultados indican una diferencia significativa en la producción de etanol entre los cultivares y entre frutos de diferente estado de madurez, concluyendo que ambos aspectos (cultivar, y estado de madurez), están involucrados en la producción de etanol en los frutos de mango.

Kubo *et al.* (1990), sometieron 18 tipos diferentes de frutos y vegetales a niveles altos de CO<sub>2</sub> (60%) y 20% de O<sub>2</sub>. Los resultados muestran que el consumo de oxígeno fue reducido por altas concentraciones de CO<sub>2</sub> únicamente en la maduración de frutos climatéricos y en brócoli, todos los demás estuvieron produciendo etileno. En el caso de algunos productos la producción de etileno fue aumentada durante el tratamiento de altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, lo cual sugiere que el CO<sub>2</sub> puede actuar simultáneamente como un inductor o como un supresor de la síntesis de etileno.

Lazan *et al.* (1993), plantean que al parecer el flujo de sustratos respiratorios vía la oxidación de malato y también vía glicólisis y los ácidos tricarbónicos durante la maduración es más rápida en el tejido interno que en el mesocarpo externo. La preponderancia metabólica del mesocarpo interno sugiere que la maduración de este fruto climatérico es iniciada en los tejidos internos y progresa hacia fuera.

#### Etileno

Por muchas décadas la acción del etileno ha sido asociada con el incremento del metabolismo respiratorio en la maduración del fruto, especialmente en los llamados climatéricos, en los cuales un súbito aumento en la respiración ocurre al aparecer el inicio del proceso de maduración. Este aumento climatérico en la respiración parece ser inducido por un primer aumento en el etileno endógeno, pero bajas concentraciones de etileno exógeno pueden también disparar y acelerar el proceso de maduración. El etileno es también el único producto del grupo de compuestos volátiles que se produce en cantidades apreciables en los tejidos vegetales, estimula la respiración y la síntesis de proteínas en algunos frutos inmaduros, lo que puede activar toda una cadena de eventos bioquímicos que requiere la maduración (Weaver, 1976).

Los productos hortícolas son clasificados de acuerdo a su producción de etileno en: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta. En el caso del mango, este fruto está considerado como de moderada producción de etileno con un rango que varía entre los 1.0 y 10.0  $\mu\text{l C}_2\text{H}_4/\text{kg-h}$  esto considerando temperaturas de 20 °C. Generalmente los rangos de producción de etileno se incrementan con la maduración al momento de la

cosecha, los daños físicos, incidencia de enfermedades, incremento de temperaturas arriba de 30°C y estrés hídrico. Los rangos de producción de etileno en los productos hortícolas pueden ser reducidos mediante el almacenamiento a bajas temperaturas, reducción de niveles de O<sub>2</sub>, elevación de niveles de bióxido de carbono (más de 2%) (Kader, 2002). Esto último ha sido probado también en cultivo de Melón (Aharoni *et al.*, 1993).

El contenido interno de etileno en frutos de mango cambia de 1.87 ppm en el árbol a 0.084 ppm dos horas después de la cosecha. En el caso CO<sub>2</sub> el contenido cambia de 2.67 ppm en el árbol a 3.35 ppm 2 horas después de la cosecha (Chon-Ton 1987).

Akamine y Goo (1973), en frutos de mango, aguacate y litchi midieron la respiración y producción de etileno durante la ontogenia del fruto y determinaron que la respiración disminuyó conforme los frutos maduraron en las tres especies, pero que en los inicios de la maduración, se produjo un incremento respiratorio en mango y aguacate, no así en litchi. De la misma manera la producción de etileno disminuyó hasta hacerse indetectable en frutos maduros de las tres especies en estudio.

Efectos de aplicación del etileno. El etileno aplicado, al parecer induce la producción autocatalítica de etileno y acelera el proceso de maduración (Lieberman, 1979). En la actividad hortícola el etileno juega un papel muy importante debido a la reconocida utilidad que tiene su aplicación como acelerador de la maduración de los diferentes productos, lo cual en ciertos momentos, le permite al productor sacar provecho de ello de acuerdo a los requerimientos del mercado.

El etileno se sabe que influye en los procesos fisiológicos de las plantas y es utilizado como una herramienta para el mejoramiento de la producción agrícola, sin embargo el uso experimental y práctico está limitado por su naturaleza gaseosa, lo cual hace difícil su aplicación, es por ello que etephon o ethrel (ácido 2-cloroetil, ácido fosfórico) es la forma más común de estimular la liberación de etileno, debido a que es soluble en agua, lo cual lo hace más práctico en su manejo que el etileno mismo (Bondad, 1976).

La aplicación de etileno en cultivos tropicales y subtropicales según algunos investigadores no tiene efectos sobre la concentración de sólidos solubles, ni la acidez, aunque si reportan efectos sobre color. Arjona y Mata (1991), quienes aplicaron etileno a frutos de la pasión (*Pasiflora edulis*), para determinar su efecto en la calidad del fruto; mencionan que los tratamientos influyeron únicamente en el color del fruto, mas no en la concentración de azúcares.

An Jo-Feng y Paull (1990), plantean que la aplicación de etileno en papaya acelera la maduración en el tejido del mesocarpo, cerca de la cáscara, y que no tiene efectos significativos en el mesocarpo, cerca de la cavidad de la semilla.

El etileno juega un importante papel en la senescencia de la planta vía sus efectos directos e indirectos sobre la regulación del metabolismo. Los efectos bioquímicos y fisiológicos del etileno sobre los cultivos hortícolas cosechados incluyen: incremento en la actividad respiratoria, incremento en la actividad de las enzimas como la poligalacturonasa, peroxidasa, lipoxidasa y otras incrementando la permeabilidad y pérdida de compartimentación celular. Sin embargo, el mecanismo por el cual el etileno promueve la senescencia, permanece desconocido (Kader, 1985). Este autor establece que la incidencia y severidad de esos desórdenes depende sobre todo de la edad fisiológica del producto, de la temperatura, concentración de etileno y la duración de la exposición al mismo.

Algunos investigadores afirman que la aplicación de etileno exógeno solo tiene efecto si este se aplica en los primeros estadios de maduración del fruto. González y Brecht (1978), trabajando con frutos del tomate mutante "rin", mencionan que este permanece firme aún después del cambio de color, debido a que existen 2 mecanismos conectados de ablandamiento del fruto, el primero puede ser activado después de 4 días de aplicación de etileno exógeno y el segundo es el mecanismo de la maduración normal. Ellos sugieren que en el primer mecanismo, el etileno exógeno únicamente induce la activación de una o varias enzimas, pero que el segundo mecanismo no juega ningún papel.

Modo de acción del etileno. Blankenship y Sisler (1993), plantean que la eficacia de aplicación de etileno exógeno en los frutos depende del estado de madurez de los mismos, ya que algunos cambios en los sitios de unión del etileno se llevan a cabo con el inicio de la maduración y la concentración de etileno necesaria para saturar esos sitios se incrementa para después disminuir. Ellos concluyen que en la medida en que existan residuos de etileno endógeno en el fruto, serán necesarias concentraciones menores de etileno exógeno.

Metilciclopropeno (1-MCP). Resultados de recientes trabajos desarrollados, indican que el 1-MCP, es un inhibidor de la acción del etileno que retarda la maduración y mejora la calidad de vida poscosecha en los diferentes cultivos, entre los que se encuentran los ornamentales, hortalizas y frutales (Vilas y Kader, 2001; Bower y Mitcham, 2001). Los principales aspectos de la maduración de los frutos donde se pueden ver los efectos de la acción de esta sustancia son la disminución de la respiración y el color. Fan y Mattheis (2000b), estudiaron el efecto de 1-MCP sobre la respiración y color en ramas de brócoli, con diferentes tratamientos: a) control, b) aplicación de 1-MCP por 12 horas y tratadas con aire, c) aplicación de etileno y d) aplicación de 1-MCP por 12 horas y posteriormente aplicación continua de etileno. Los resultados indican que la aplicación de 1-MCP retarda el efecto del etileno sobre la respiración y no permite una degradación del contenido de clorofila, retardando el amarillamiento. Similares resultados reportan los mismos investigadores en trabajos realizados en hortalizas como zanahoria y lechuga, logrando además reducir significativamente la acumulación de isocumarina, que es un compuesto responsable del sabor amargo en zanahoria, mientras que en lechuga se redujo la incidencia de manchas rojizas (Fan y Mattheis, 2000c).

Mir *et al.* (1999), midieron la efectividad del 1-MCP en frutos de tomate en todos los estados de madurez y demostraron que se extiende la vida de anaquel ya que la pérdida de firmeza y el desarrollo del color fueron lentos. Ellos encontraron que la aplicación de 1-MCP redujo la tasa respiratoria aproximadamente en un 40% comparado al testigo. Por el contrario la producción de etileno no fue afectada por la aplicación del 1-MCP.

Golding *et al.* (1999), estudiando los efectos del 1-MCP sobre la respiración, producción de etileno, y la producción de componentes volátiles en frutos de plátano

reportan que estos parámetros se redujeron en los frutos tratados con 1-MCP, Fan *et al.* (2000<sup>b</sup>), trabajando con albaricoque demostraron se inhibe la acción del etileno y se extiende la vida de anaquel. Harris *et al.* (2000), en un trabajo con plátanos plantean que la efectividad del 1-MCP para retardar la maduración depende del estado de madurez fisiológica de los frutos.

Jeong *et al.* (1999), aplicaron 1-MCP para investigar sus efectos sobre la maduración, respiración y producción de etileno en frutos de aguacate. Los frutos fueron tratados con 1-MCP por 24 horas a 20°C y posteriormente almacenados a 13 o 20°C. Algunos frutos fueron expuestos a 100 ppm de etileno a las mismas temperaturas, antes o después del tratamiento con 1-MCP. Los resultados indican que el 1-MCP inhibió la maduración de aguacate almacenado a 13 y 20°C con 85% de humedad relativa. La evolución del etileno y la tasa respiratoria fueron dramáticamente deprimidas más del 95 y 52% respectivamente por el 1-MCP. La firmeza de los frutos testigo disminuyó de más de 100 N a 10 N en menos de 7 días, mientras que los frutos tratados con 1-MCP permanecieron firmes (45 N) de manera sostenida por más de 3 semanas. El tratamiento de etileno (100 ppm.) a 20°C por 12 horas, no superó la influencia de 1-MCP. Resultados similares reportan Feng *et al.* (2000), trabajando también con aguacate pero realizando algunas variantes en cuanto a las dosis de 1-MCP y etileno.

Mir *et al.* (2001), aplicaron 1-MCP en 3 grupos de frutos de manzano cosechados una semana antes del climaterio; al inicio del climaterio y una semana después del inicio del climaterio, y almacenaron a temperaturas de 0, 5, 10, 15 y 20°C. Las aplicaciones de 1-MCP se realizaron con intervalos de 1 vez a la semana, 1 vez cada 2 semanas y 1 vez cada mes. Estos tratamientos fueron comparados con frutos almacenados en cámaras con bajo nivel de oxígeno y CO<sub>2</sub> y contra un testigo (sin aplicaciones y solo con manejo de las mismas temperaturas y fechas de cosecha). Los resultados indican que hay efecto de las aplicaciones del 1-MCP en la conservación de la firmeza de los frutos respecto al control en todas las combinaciones de temperatura y frecuencia de aplicación. Ellos concluyen que la efectividad del 1-MCP a elevadas temperaturas, puede ser mejorada por frecuentes aplicaciones y que el mérito del fruto almacenado a elevadas

temperaturas aún por períodos cortos de duración puede incluir la reducción de costos de operación de almacenamiento, lo cual permite reducir la dependencia de la refrigeración en el almacenamiento de frutos de manzano en períodos cortos. Respecto a otros parámetros de maduración como son la degradación de los almidones, acumulación de azúcares y preservación de la acidez titulable, los efectos no fueron tan marcados como los que se observaron en la conservación de la firmeza. El almacenamiento a elevadas temperaturas permite que ocurra la pérdida de acidez en proporciones comparables con los frutos no tratados. Ellos mencionan que es posible que los frutos tratados con 1-MCP y mantenidos a elevadas temperaturas, a pesar de su firmeza, puedan desarrollar un sabor insípido; lo mismo ocurre con el aroma, lo cual compromete seriamente el uso del 1-MCP.

Resultados similares respecto a la firmeza de frutos tratados con 1-MCP reportan Fan *et al.* (1999). Ellos trabajaron con frutos de manzano de seis diferentes cultivares, y observaron respuesta del 1-MCP en relación a la acidez titulable, la cual fue mayor en todos los frutos tratados de todos los cultivares durante el almacenamiento. Ellos concluyen que esto implica que la acidez titulable está relacionada con la acción del etileno. Lo contrario ocurrió con la acumulación de sólidos solubles que no se alteró por la aplicación del 1-MCP, el cual si provocó la disminución en la producción de etileno y de la respiración.

Los efectos de 1-MCP y de tiosulfato de plata (TSP) aplicados en macetas de 3 híbridos de plantas de begonia a los cuales se les hicieron aplicaciones posteriores de etileno en bajas concentraciones, comparados con un control, fueron probados por Serek *et al.* (1994). Los resultados indican que el 1-MCP provee igual protección que TSP contra la abscisión y senescencia de hojas y flores provocada por el etileno, sin embargo, concluyen que es mas recomendable la utilización de 1-MCP debido a que las concentraciones utilizadas son mas pequeñas y al parecer es menos tóxico que TSP. Cameron y Reid (2001), afirman que la efectividad del 1-MCP depende del manejo de las temperaturas y frecuencia de aplicación del producto para retardar la abscisión de pétalos en geranio, pero que su efecto es pasajero en la medida de que la acción del

etileno se reinicia en plantas tratadas con 1-MCP a medida en que transcurre mas tiempo a partir del tratamiento.

Modo de acción del 1-MCP. Sisler y Serek (1997), señalan que el 1-MCP se une a un metal en el receptor de etileno, estableciendo así una competencia por los sitios receptores. Al estar ocupados estos sitios receptores, el etileno no puede encontrar su sitio de acción ni completar su proceso de formación y por lo tanto este gas no se produce en los tejidos del fruto de manera inmediata. Esto ocasiona un retraso en la maduración, la cual se reanuda en la medida en que se producen nuevos sitios receptores de etileno.

Feng *et al.* (2000), después de trabajar con 1-MCP en aguacate concluyen que según los resultados de su investigación este compuesto es capaz de proteger el tejido contra la acción del etileno probablemente bloqueando los receptores de esta hormona y que los efectos inhibidores de 1-MCP duraron 2 semanas, posteriormente los frutos volvieron a reasumir la maduración normal, lo cual demuestra que después de 2 semanas ya se han formado nuevos sitios libres receptores de etileno.

Watkins *et al.* (2000), después de trabajar con cultivares de manzana de producción temprana, intermedia y tardía, afirman que 1-MCP es un químico de poscosecha que tiene un tremendo potencial de mantenimiento de calidad para frutos de manzana durante el almacenamiento y una mayor reducción de desordenes fisiológicos. Sin embargo, su eficiencia es afectada por el cultivar y condiciones de almacenamiento.

#### Influencia de la temperatura en la vida poscosecha del mango

El método mas común empleado para incrementar la vida de anaquel de los frutos es disminuir la tasa respiratoria y de esa manera la tasa de maduración. En el mango, esto está determinado por la reducción de temperaturas (Thompson, 1971).

El mango al ser un fruto tropical es susceptible a daños por temperaturas inferiores a 10°C. Temperaturas entre 10 y 12°C son suficientes para retardar la maduración y senescencia (Hulme, 1971). Lederman *et al.* (1997), demostraron que las bajas temperaturas inhiben el desarrollo de algunos de los procesos de maduración cuando los frutos son almacenados a temperaturas de 8 °C. En frutos de mango variedad Amelia, Tommy Atkins y Keitt las bajas temperaturas provocan bajos niveles de concentración de sólidos solubles, y una alta incidencia de enfermedades poscosecha (Medlicot *et al.*, 1990). La capacidad de formación de carotenoides en frutos de mango al parecer es afectada por el almacenamiento a bajas temperaturas. Un estudio desarrollado por Thomas (1975), con mangos variedad Alfonso almacenados a temperaturas de 7, 15, y 20 °C y subsecuentemente puestos a nivel ambiente, ó mantenido a temperatura ambiente de manera constante, indica que los frutos almacenados a bajas temperaturas y posteriormente madurados en temperatura ambiente no sintetizaron tantos carotenoides como los que fueron mantenidos a temperatura ambiente de manera continua. Además, se observó que las bajas temperaturas (7 °C) afectaron las características organolépticas de los frutos, el aroma y sabor.

Seymour *et al.* (1990), han mostrado que existen efectos del tipo de variedad y estado del desarrollo al momento de la cosecha, sobre la maduración durante el almacenamiento. Utilizando frutos de variedades Amelia, Kent, y Sensation cosechados a diferentes estados de desarrollo y almacenados a 12 °C por un período de 21 días, ellos mostraron que la respuesta al almacenamiento a 12 °C dependió del cultivar, el desarrollo del fruto al momento de la cosecha y también la fecha en que fueron cosechados durante la temporada. La variedad Kent mostró iguales efectos en cuanto al estado de desarrollo de los frutos sobre el comportamiento de almacenamiento, mientras que los frutos cosechados en diferentes fechas durante la temporada de mango mostraron que la velocidad de maduración durante el almacenamiento se incrementó más rápido cuando los frutos fueron cosechados en las últimas fechas de la temporada.

## Indicadores de calidad en frutos de mango

### Firmeza

Las propiedades de textura de un alimento son aquel grupo de características físicas que son transmitidas por el sentimiento del tacto, están relacionadas con la deformación, desintegración y flujo del alimento bajo la aplicación de una fuerza y son medidas objetivamente por función de fuerza, tiempo y distancia (Bourne, 1980).

Los indicadores de maduración en mango son el ablandamiento de la pulpa, disminución de la acidez, incremento en el contenido de sólidos solubles y sólidos totales. La firmeza del tejido es conocida como el factor mas relacionado con el estado de madurez del fruto de mango (Mizrach *et al.*, 1999). Es generalmente aceptado que el ablandamiento y los cambios en la textura ocurridos durante el proceso de maduración son asociados con los cambios en las pectinas. Las principales enzimas asociadas con la solubilización de las protopectinas son las enzimas pectolíticas, pectinmetilesterasa y poligalacturonasa (Bongwoo y Bruemmer 1981; Huber, 1983; Mitcham y McDonald, 1992).

La maduración del fruto de mango esta caracterizada por el ablandamiento de la pulpa al mismo tiempo que ocurren un número de reacciones bioquímicas, las cuales están probablemente reguladas por diferentes enzimas. El ablandamiento se ha sugerido que está relacionado con la hidrólisis de varios de los componentes celulares. La enzima que parece ser responsable de la solubilización de las pectinas es la poligalacturonasa (PG), (Gómez, 1992).

González y Brecht (1978), concluyen que en el caso del tomate mutante "rin" éste permanece firme aún después del cambio de color, debido a que existen 2 mecanismos de ablandamiento del fruto conectados, el primero puede ser activado después de 4 días de aplicación de etileno exógeno y el segundo es el mecanismo de la maduración normal. Quizás en los frutos el etileno exógeno únicamente induce la activación de una o varias enzimas pero en el segundo mecanismo no.

Watkins *et al.* (1988), midieron la actividad de la poligalacturonasa y otras enzimas en 2 cultivares normales y en un mutante de lenta maduración en cultivo de tomate, así como en las cruzas de las variedades con el mutante, encontrando que la poligalacturonasa incrementa su actividad durante la maduración en todos los padres y progenie pero que en el mutante de lenta maduración la actividad de la enzima fue mas baja. Ellos concluyen que el incremento en la actividad de la poligalacturonasa conforme el fruto madura soporta el concepto de que esta enzima está involucrada en la disolución de la pared celular.

Baldwin y Pressey (1988), infiltraron poligalacturonasa (PG) y pectimetilesterasa (PME) en frutos de tomate con el objetivo de medir los niveles de etileno después de los tratamientos y observaron que bajos y aún indetectables niveles de poligalacturonasa en frutos verdes de tomate promuevan el incremento de la producción de etileno, hasta que los niveles internos de esta hormona alcancen algún límite, y que los frutos maduros que son sensibles al etileno, pueden entonces responder con incremento de la síntesis de PG, licopenos y etileno autocatalítico. Los niveles incrementados de PG pueden presumiblemente inducir la producción de mayores niveles de etileno resultando en muy altos niveles de producción de etileno observados durante el climaterio.

Una característica inherente de la maduración del fruto del mango es la ocurrencia de un diferencial en el fenómeno de maduración relacionado con la profundidad del tejido. Los indicadores bioquímicos asociados con el metabolismo de la pared celular (por ejemplo la actividad de la poligalacturonasa y  $\beta$ -galactosidasa) y con el metabolismo respiratorio (niveles de enzima málica-NADP, fosfoenolpiruvato carboxilasa, azúcares-ácidos orgánicos), sugieren que el tejido del mesocarpo interno es metabólicamente mas activo que el mesocarpo externo (Lazan *et al.*, 1993).

Como resultado de un estudio llevado a cabo por Mitcham y McDonald (1992) para observar las modificaciones que ocurren en la pared celular durante el proceso de maduración en mango de las variedades Keitt y Tommy Atkins, concluyen que ambos cultivares maduran de la parte interna hacia la parte externa, y que el ablandamiento

interno del fruto empieza en estado verde maduro, cuando los hombros de los frutos estuvieron bien redondeados y el mismo fue juzgado externamente como duro. Esto fue particularmente cierto para Keitt donde el mesocarpo externo estuvo muy duro ( $>100$  N), mientras que el interno estuvo flojo ( $< 40$  N). La maduración interna indetectable es la principal responsable de la no uniformidad en la maduración. Esto en un determinado lote de frutos indica problemas de poscosecha. El mesocarpo externo de los frutos de la variedad Keitt permaneció firme mas tiempo que el de la variedad Tommy Atkins, esta condición puede proporcionarle a la variedad Keitt mayor resistencia a magulladuras y pudriciones. Ambos cultivares tuvieron similar actividad de la enzima PG la cual se incrementó con la maduración. La cantidad y el peso molecular de la hemicelulosa de la pared celular decreció con la maduración en ambos cultivares, esos datos indican que procesos enzimáticos o no enzimáticos junto con la actividad de la PG están involucrados en el extensivo ablandamiento de frutos de mango.

Bongwoo y Bruemmer (1981), evaluaron los cambios en las sustancias pécticas y enzimas durante la maduración de frutos de mango variedad Keitt en cuatro estados diferentes de madurez, concluyendo que las pectinas solubles en agua y las álcali solubles disminuyeron y las pectinas solubles en oxalato de amonio se incrementaron conforme el fruto perdió firmeza. Incrementándose también la actividad de la PG.

Zauberman *et al.* (1988), evaluaron la actividad de la peroxidasa y la celulasa en frutos de mangos sometidos a bajas temperaturas ( $5^{\circ}$  C), concluyendo que el incremento en la actividad de estas dos enzimas es parte del síndrome de daño por frío que desarrollan los frutos de mango sometidos a estas condiciones de almacenamiento.

La transpiración se encuentra fuertemente asociada a la firmeza de los frutos, afectando su apariencia física y comercial durante el almacenamiento y manejo poscosecha (Shirazi y Cameron, 1993). La deshidratación resultante de la pérdida de agua afecta adversamente la apariencia, textura, sabor y peso del producto, todos estos factores en conjunto determinan su precio. El contenido de agua del fruto a la cosecha es aproximadamente del 80 al 90% del peso fresco. La pérdida de agua en poscosecha

puede causar un rápido deterioro en la calidad del producto a través de su traslado (Burdon y Clark, 2001). El estrés de agua también induce estos síntomas, por lo que se ha demostrado en muchos estudios que condiciones de baja humedad aceleran la senescencia y son indicadores de una rápida desintegración de la membrana y la fuga de componentes celulares (Ben-Yehoshua, 1987).

## Color

La apariencia visual de los frutos y vegetales es uno de los primeros determinantes de calidad que utiliza el comprador de estos productos. No hay color sin luz, la percepción del color depende de la intensidad y el tipo de luz, de las características físicas y químicas del producto (Mitcham y Kader 1996).

El color es el cambio mas obvio que ocurre en muchos frutos y frecuentemente es el mejor criterio usado por los consumidores para determinar si el fruto está maduro o inmaduro. El cambio mas común es la pérdida de color verde, con pocas excepciones, por ejemplo el aguacate y manzanas cv. Granny smith. Los frutos climatéricos muestran rápida pérdida del color verde en la maduración. Los principales agentes responsables por esta degradación son los cambios en el pH (debidos principalmente a la fuga de ácidos orgánicos de la vacuola), el sistema oxidativo y las clorofilasas. La pérdida de color depende de uno de estos factores o de todos ellos actuando en secuencia } para destruir la estructura de la clorofila. La desaparición de la clorofila es asociada con la síntesis de pigmentos que van de amarillo a rojo, muchos de esos pigmentos son carotenoides, los cuales son hidrocarbónos insaturados con 40 átomos de carbono.

Los carotenoides son compuestos estables y permanecen intactos en el tejido aún cuando la senescencia extensiva ha ocurrido y pueden ser sintetizados durante los estados de desarrollo en la planta, pero son encubiertos por la presencia de clorofila y solo son visibles con la degradación de esta. Otros } de los pigmentos son las antocianinas que proveen el color rojo púrpura, las cuales son solubles en agua por eso se encuentran principalmente en la vacuola d los frutos y vegetales, también en la capa epidérmica y producen colores fuertes los cuales seguido ocultan los carotenoides y las

clorofilas (Wills *et al.*, 1998). El análisis de color es frecuentemente una consideración importante cuando determinamos la eficacia de un tratamiento poscosecha en una variedad (McGuire. 1992). Los resultados de un trabajo desarrollado por Mercadante y Rodríguez (1998), con frutos de mango variedad Tommy Atkins y Keitt cultivados en regiones cálidas y templadas indican que el clima puede tener mayor influencia en la composición de los carotenoides que las diferencias de cultivares. Los frutos de regiones cálidas presentaron un mayor número de carotenoides, independientemente de la variedad, y los mangos de la variedad Tommy Atkins fueron superiores en este aspecto en 35% a los de la variedad Keitt, pero en contenido de vitamina A fue mejor esta última.

En un estudio en frutos de mango llevado a cabo por Medicott *et al.* (1986), plantean que el color de la cáscara es un importante componente de calidad del fruto y como tal juega un mayor papel en la aceptación del consumidor. Durante la maduración, la mayoría de las variedades de mango cambian de color de verde a amarillo, enseguida muestran un destello rojo. El desarrollo del color es asociado con una pérdida de textura, incremento del contenido de azúcares y disminución de la acidez. En los frutos la coloración verde y amarilla está determinada por los lípidos solubles, las clorofilas y carotenoides presentes en los plástidos, mientras que el color rojo puede ser debido a carotenoides o a las antocianinas solubles en agua que se encuentran en la vacuola.

Por su parte John *et al.* (1970), en un estudio con técnicas cromatográficas, espectroscópicas y químicas sobre el contenido de carotenoides en las variedades de mango Alfonso y Badami en 3 diferentes estados de madurez (inmaduros, parcialmente maduros y completamente maduros), encontraron que existen 15, 14 y 16 diferentes carotenoides, respectivamente. Concluyen que las dos variedades tienen el mismo tipo de carotenoides y que el contenido de los mismos se incrementa con la maduración, además de que su contenido máximo se alcanza al sexto día de maduración para después empezar a disminuir.

## Pérdida de Peso

Akamine y Goo (1973), determinaron que los frutos de mango y aguacate alcanzan su peso máximo cuando cambia el color de la superficie de la cáscara y el fruto está en transición entre el estado verde maduro y el comienzo de la maduración.

La pérdida de peso está relacionada entre otros factores con las temperaturas a la cual es almacenado el producto. Los frutos almacenados por 14 días pierden 10, 4 y 2% bajo temperaturas de 21, 14, y 7 °C, respectivamente (Thompson, 1971).

## Relación Grados Brix/Acidez

Las frutas y vegetales contienen pequeñas cantidades de ácidos orgánicos, metabolitos intermediarios de diversos procesos que pueden también acumularse en vacuolas que confieren al tejido un sabor ácido o amargo. El contenido de estos ácidos depende de la especie vegetal, variando desde niveles muy bajos (en productos como el maíz dulce) a concentraciones muy altas como en las fresas, grosellas, espinacas, etc. Una especie vegetal ácida puede contener hasta 50 meq. de ácido por cien gramos de tejido y poseer un pH inferior a 2 (Fennema, 1985).

Malundo *et al.* (2001), en un estudio desarrollado para determinar la influencia de los azúcares y los ácidos en las propiedades del sabor de mango, concluyen que la importancia de la influencia de los azúcares y los ácidos sobre la intensidad de los mensajes de sabor específico, particularmente los factores de sensación química y aromática es notable, sin minimizar la importancia de los volátiles y otros componentes.

Gil *et al.*, (2000), encontraron que los componentes principales del fruto en el primer día después de cortado son los azúcares como la glucosa (20.4 %), fructosa (38.2 %), y sacarosa (41.3 %) y que después de 3 días de maduración disminuyen la glucosa (5.5 %), la fructuosa (27.5 %), mientras la sacarosa aumenta (57.1 %), esta tendencia de la sacarosa se mantiene incrementándose hasta 1.3 veces del día 1 al día 19, mientras que la fructuosa muestra un incremento inicial del día 1 al día 5 para después disminuir al valor inicial. Al mismo tiempo existe una marcada disminución del ácido cítrico después

del día 5 coincidiendo con los máximos valores del ácido málico. Marín y Cano (1992), en la determinación de azúcares solubles observaron que el contenido de glucosa fue menor que la fructuosa durante el período de maduración de frutos de 2 cultivares, mientras que la sacarosa fue significativamente mayor alcanzando valores correspondientes al 60% del total de los azúcares, los valores de pH se incrementaron mientras que la acidez disminuyó en la medida en que los frutos se acercaron al climaterio.

Thomas y Beyers (1979), monitorearon las concentraciones de ácido ascórbico, carotenos, azúcares y acidez titulable en mango y papaya seleccionando 2 variedades de cada cultivo para este propósito y aplicando tratamiento de radiación y sin radiación desde el estado verde maduro a estado maduro comestible. Ellos concluyen que estos componentes del fruto presentan cambios muy ligeros durante el proceso de maduración y que en el caso de la acidez titulable en mango, éste presenta los máximos valores o "pico de acidez" entre el segundo y el cuarto día para después empezar a disminuir, en los cultivares Zill y Kent.

Los resultados de un análisis de la composición de ácidos grasos en extractos de mango irradiado arrojan que los principales componentes son el ácido palmítico (26.3), linoléico (25.9), oléico (24.5) (Blakesley *et al.* 1979). Ellos observaron también que durante el proceso de maduración del fruto se presenta un aumento en el contenido de triglicéridos acompañado de cambios significativos en la proporción de ácidos grasos, esos cambios ocurren primeramente en los ácidos insaturados palmitoléico, oléico, linoléico y linolénico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetativo y tratamientos

Para la realización de este estudio se seleccionaron de manera aleatoria frutos de mango cv. Keitt en estado de madurez verde-sazón, de un empaque ubicado en el Municipio de Escuinapa, Sinaloa. Posteriormente, los frutos se dividieron en tres grupos. El primer grupo fue tratado con Agrofresh (1-metilciclopropeno) en forma de gas a 180 ppb durante 12 horas. El segundo grupo se trató con ethrel mediante inmersión líquida durante 5 minutos a razón de 1000 partes por millón. Otro grupo de frutos se utilizó como testigo, el cual no recibió ningún tratamiento.

### Etapá de almacenamiento

Un grupo de frutos representativo de los 3 tratamientos aplicados se colocó directamente bajo condiciones de simulación de mercadeo, en una cámara con temperatura constante de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2$  y humedad relativa de 85%.

### Trabajo de laboratorio

El trabajo de laboratorio consistió en estudiar las variables que definen la calidad poscosecha de los frutos de mango mediante evaluaciones químicas, físicas y fisiológicas.

Para las variables químicas se analizó el pH, la acidez titulable (% de ácido cítrico), los sólidos solubles totales ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) y la relación  $^{\circ}\text{Brix}$  /acidez. En los análisis físicos se determinó la firmeza (Newton), la pérdida de peso (%), y color externo e interno (luminosidad, cromaticidad y ángulo de matiz). En los estudios fisiológicos se cuantificó la velocidad de respiración ( $\text{mL CO}_2/\text{Kg-h}$ ). Las evaluaciones de las variables químicas, físicas y fisiológicas se realizaron a los 0, 3, 7, 14 y 21 días de almacenamiento a temperatura constante de  $20^{\circ}\text{C}$ . Para el caso de la variable respiración esta fue medida diariamente, a partir de que los frutos fueron colocados a temperatura de mercadeo.

### Pérdida de peso

Para determinar la pérdida de peso se siguió la metodología reportada por Díaz-Pérez (1998). De manera aleatoria se seleccionaron 10 frutos por cada tratamiento y se registró su peso durante los días de estudio, utilizando una balanza digital SartoriusBP 4100 (Edgewood, NY). El porcentaje de pérdida de peso se determinó según la fórmula:

$$P.P. = ((P_i - P_f) / P_i) * 100$$

Donde:

P.P. = Pérdida de peso(%)

pi = Peso inicial

pf = Peso final

### Firmeza

Se determinó como el esfuerzo necesario para romper la pulpa de los frutos. Se analizaron al azar cinco frutos por tratamiento, a los cuales se les evaluó la firmeza en dos lugares distintos del fruto. Para hacer las mediciones se utilizó un penetrómetro Chatillón modelo DFGS-100 (North Caroline E.U.) utilizando un punzón de 10 mm, ambos adaptado a una base automática Chatillón TCD-200 y de acuerdo a lo propuesto por Bourne (1980). Los resultados se expresaron en Newtons.

### Color interno y externo

El color de la pulpa se evaluó en la parte mas cercana a la semilla y el color externo en la parte ecuatorial de los frutos de acuerdo a lo propuesto por Little, (1975). Esta evaluación se realizó en cinco frutos por cada tratamiento seleccionados aleatoriamente. Para medir el color se utilizó un colorímetro portátil Minolta CR-300 (New Jersey E.U.), en donde se registraron las variables de color a, b y L para posteriormente determinar los valores de Cromaticidad (C) mediante  $C = \sqrt{a^2 + b^2}$  y ángulo de matiz, como  $\arctg b/a$  (MINOLTA, 1993).

## pH

Esta variable se midió seleccionando en forma aleatoria 5 frutos por cada tratamiento, según la metodología propuesta por AOAC, (1998), utilizando un potenciómetro digital Corning pH Meter 140 (U.K., E.U.) y los valores se expresaron como iones de hidrógeno.

## Sólidos Solubles Totales (°Brix)

Para medir el contenido de sólidos solubles se seleccionaron 5 frutos al azar utilizando un refractómetro ABBE Leica Mark 11 (Búfalo N. Y.) con temperatura compensada, expresando los resultados como grados Brix, según la metodología descrita por la A.O.A.C., (1998).

## Acidez titulable (% AT)

Se seleccionaron aleatoriamente 5 frutos y se determinó según la metodología oficial de la AOAC (1998) utilizando un titulador automático Mettler DL21. Se pesaron 10 gramos de pulpa por cada fruto y se les adicionó agua destilada y neutralizada. La muestra se homogenizó en una licuadora marca Osteriser y se filtró mediante una malla de organza, tomando posteriormente una alícuota de 50 mL. la cual se colocó en el titulador automático. Los resultados se expresaron en % de acidez titulable utilizando ácido cítrico como principal ácido orgánico, calculándose mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ AT} = (M \times V \times N \times m / A \times W) (100)$$

Donde

% AT= porcentaje de acidez titulable (% ácido cítrico)

M= Mililitros gastados de NaOH en la titulación

V= Volumen de la muestra

N= Normalidad de la solución de NaOH

m = Miliequivalente del ácido cítrico (0.064)

A = Alícuota de la muestra tomada

W= Peso de la muestra.

## Respiración

Para determinar la respiración se cuantifico la producción de bióxido de carbono en 2 frutos por cada tratamiento, utilizando la técnica reportada por Báez *et. al.* (1997). Se utilizó un cromatógrafo de gases Varian 3300 (Walnut Creek, CA.) adaptado con un detector de conductividad térmica para la detección de CO<sub>2</sub> y un detector de ionización de flama para C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>. Los resultados se reportaron como mL de CO<sub>2</sub>/Kg-h, considerando el peso inicial de los frutos y la velocidad de flujo de aire.

## Análisis estadístico

Para el análisis de los datos correspondientes a las variables que se midieron bajo técnicas destructivas como son: pH, acidez titulable, °Brix, color interno, color externo y firmeza estos fueron analizados bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial de dos factores, siendo el factor A el efecto de los tratamientos con tres niveles: testigo, 1-MCP y etileno, el factor B fue el tiempo o día de muestreo con cinco niveles.

Para el caso de los datos correspondientes a la medición de las variables donde no se utilizaron técnicas destructivas como lo son pérdida de peso, y respiración, el diseño fue el mismo con la variante de que se bloqueó el factor tiempo. Los datos se analizaron mediante un ANOVA por GLM (modelo lineal general). En caso de significancia en el ANOVA, las medias fueron analizadas de acuerdo a Tukey a un nivel de aceptación del 5%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y discusiones se exponen en el siguiente orden:

VARIABLES DE RESPUESTA DE NATURALEZA QUÍMICA

VARIABLES DE RESPUESTA DE NATURALEZA FÍSICA

VARIABLES DE RESPUESTA DE NATURALEZA FISIOLÓGICA

### VARIABLES DE NATURALEZA QUÍMICA

#### pH

El pH frecuentemente expresa los niveles de acidez, mientras que la concentración de azúcares es reportada como sólidos solubles, sin embargo pocos investigadores han discutido como la variación en la concentración de esos componentes afecta la percepción del sabor del fruto Malundo (2001).

En el análisis de varianza de esta variable, se observó que el pH de los frutos en los tres tratamientos fue significativo ( $P=0.004$ ), al igual que el factor tiempo ( $P=0.000$ ), con una interacción significativa ( $P=0.016$ ) (ver apéndice Cuadro 6.1).

Cuadro 6. Valores de pH en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, almacenados a temperaturas de 20 °C.

Días de almacenamiento a 20 °C						
Tratamiento	0	3	7	14	21	Media
1-MCP	3.9 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	4.0 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	3.9 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	4.2 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	5.0 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	4.2 <sup>b</sup>
Ethrel	4.0 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	4.0 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	4.2 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	5.0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	5.2 <sup>a</sup> <sub>ab</sub>	4.5 <sup>a</sup>
Testigo	4.0 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	3.8 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	3.9 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	4.6 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	5.5 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	4.4 <sup>ab</sup>
Media	4.1 <sup>c</sup>	3.9 <sup>c</sup>	4.0 <sup>c</sup>	4.6 <sup>b</sup>	5.3 <sup>a</sup>	

\* Valores entre columnas con letras distintas son estadísticamente diferentes ( $p<0.05$ ).

\* Las letras en superíndice corresponden a las comparaciones de los efectos del factor tiempo en los tratamientos.

\* Letras en subíndice corresponden a las comparaciones de los efectos de tratamientos en el tiempo.

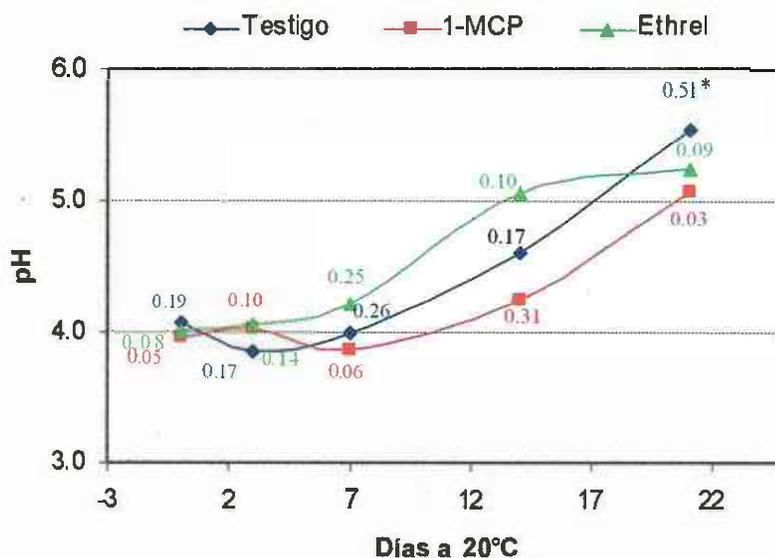
De manera general se observa que los valores mas bajos de pH corresponden a los frutos tratados con 1-MCP con una media de 4.23, y que los frutos tratados con etileno desarrollaron valores mas altos (pH=4.52) mientras que en los frutos testigo la media fue de pH=4.41 (Cuadro 6). A medida que el tiempo de almacenamiento transcurrió, los niveles de pH en los frutos de todos los tratamientos se incrementaron con excepción de los valores obtenidos en la segunda medición que son ligeramente mas bajos (pH=3.9) que los obtenidos en el día cero (pH=4.1), no mostrando diferencia el efecto del tiempo en el desarrollo de pH en los frutos durante las 3 primeras mediciones efectuadas, siendo hasta los 14 días de almacenamiento cuando se mostraron los efectos del factor tiempo.

A partir de los 14 días de almacenamiento los mangos mostraron valores de pH estadísticamente diferentes entre los frutos tratados con etileno y 1-MCP ( $P=0.027$ ), no encontrando diferencia significativa en los frutos testigo comparados con ambos tratamientos durante el estudio (Figura 1).

La diferencia encontrada en el pH de los frutos tratados con el 1-MCP y ethrel, posiblemente se pudo deber a que el 1-MCP retardó la maduración de los frutos conservándose un mayor porcentaje de acidez, asociado a bajos valores de pH, mientras que por el contrario el etileno indujo la maduración, reduciendo su acidez, e incrementando el valor de pH (Cuadro 6 y Cuadro 8).

Ruiz y Guadarrama (1992), consideran que a valores bajos de pH el fruto de mango es más ácido y por lo tanto posee una menor madurez. Para mangos Tommy Atkins, Medicott *et al.* (1990), reportan que frutos almacenados por 4 días a 25 °C y 85% de HR presentan un patrón similar con un pH=3.27 para los frutos testigos y un pH=3.61 en los tratados con etileno (1000 ppm), siendo estos valores inferiores a los encontrados en el presente trabajo, a pesar de que en el trabajo de referencia la temperatura de almacenamiento a 5 °C. más alta. Seymour *et al.* (1990), y Siller *et al.* (1994), reportaron para diferentes cultivares de mango valores de pH entre 3.0 a 4.5 almacenados bajo condiciones de simulación de mercadeo (20°C), los cuales son ligeramente inferiores a los de este estudio. Esto tal vez se pudo deber a un diferente estado de madurez de los

frutos o a las variedades. Baldwin *et al.* (1999), trabajando con mangos cv. Tommy Atkins tratados con películas comestibles, encontraron valores de pH entre 4.6 y 5.5, los cuales coinciden con los resultados obtenidos en el presente trabajo.



\* Desviaciones estándar

Figura 1. Comportamiento de pH en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C..

En la Figura 1, se observa que el pH en los frutos en general se mantuvo con valores cercanos a 4 unidades hasta los 7 días de almacenamiento y que a los 14 días se incrementaron los niveles en los frutos tratados con ethrel hasta 5.2 unidades mientras que los tratados con 1-MCP se mantuvieron bajos (pH=4.2) Al final del estudio los niveles de pH en los 3 tratamientos se dispararon debido a la madurez.

### Sólidos solubles totales (SST)

Los SST son la expresión de todos los sólidos solubles totales contenidos en el fruto, tales como azúcares, ácidos orgánicos y minerales en un momento determinado y como tal, su cuantificación varía de acuerdo al tipo y variedad de fruto y estado de madurez,

entre otras características. Kader (1985), menciona que la maduración de los frutos usualmente implica el incremento de azúcares y la disminución de ácidos.

En el análisis de varianza se observó que los tratamientos tuvieron efectos altamente significativos ( $P=0.009$ ) al igual que el factor tiempo ( $P=0.000$ ) en el comportamiento de la variable SST, y que no existió efecto significativo en la interacción de los factores tiempo y tratamientos (ver apéndice Cuadro 7.1).

Cuadro 7. Valores de SST en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, almacenados a temperaturas de 20 °C.

Tratamiento	Media
1-MCP	12.3600 <sup>b</sup>
ethrel	14.8267 <sup>a</sup>
testigo	13.4680 <sup>ab</sup>

Días de almacenamiento a 20 °C	
Tiempo	Medias
0	8.8000 <sup>b</sup>
3	11.5333 <sup>b</sup>
7	15.0000 <sup>a</sup>
14	15.8667 <sup>a</sup>
21	16.5556 <sup>a</sup>

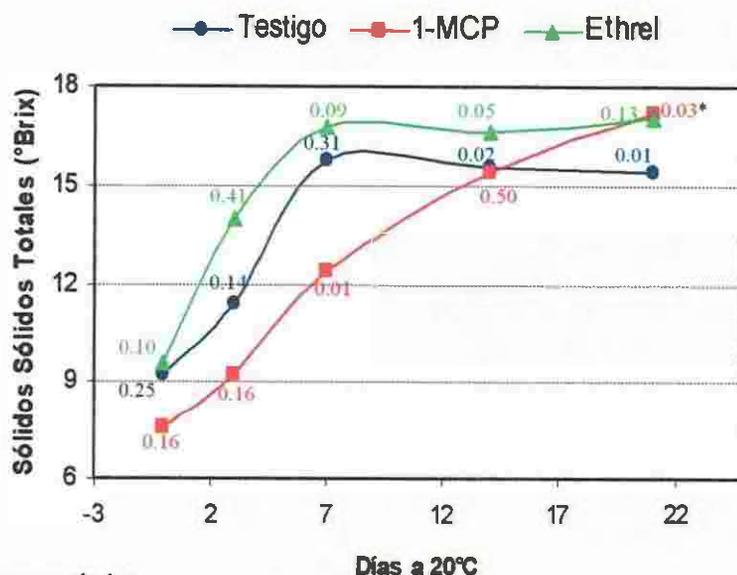
\* Valores con letras distintas son estadísticamente diferentes ( $p<0.05$ ).

Comparando los valores promedio de SST entre los tratamientos (cuadro 7) no se observó diferencia estadística entre los frutos testigo y los tratados con 1-MCP y ethrel, encontrándose solamente diferencia estadística entre los dos últimos. Esta diferencia entre tratamiento se puede deber a que el etileno induce la maduración y el 1-MCP la retarda (Lieberman, 1979; An Jo-Feng y Paull, 1990; Sisler y Serek 1997; Feng *et al.*, 2000a; Feng *et al.*, 2000b). Respecto a los efectos del factor tiempo, se aprecia que las dos primeras fechas de evaluación presentan diferencias estadísticas significativas respecto a las efectuadas posteriormente, siendo estas últimas iguales estadísticamente entre sí.

Sergent *et al.* (1992), aplicaron tratamientos de 1000, 2000, y 4000 mg/L. de etefon en frutos de mango Keitt sumergiéndolos por 1 y 2 minutos respectivamente en la solución con dichas concentraciones, almacenándolos con una temperatura de 26.7°C y 73% de humedad relativa. Los niveles de SST fueron mayores en los primeros 3 días posteriores a los tratamientos para todos los frutos tratados con etefon por 2 minutos

que para los de 1 minuto, pero la mayor concentración de sólidos solubles se obtuvo entre 2000 y 4000 Mg/L

Medlicott *et al.* (1990), exponiendo frutos de las variedades 'Tommy Atkins', 'Rubi' y 'Amelia' a diversas concentraciones de etileno y acetileno por períodos de 4, 8, 12, y 24 horas, encontraron valores máximos de 15 °Brix, después de 4 días de almacenamiento. De acuerdo a lo anterior, los valores obtenidos en el presente trabajo indican posiblemente una más rápida maduración en los frutos tratados con ethrel, sin embargo para los 21 días de almacenamiento, los tratados con 1-MCP y ethrel alcanzan los mismos valores, no así en los frutos testigo. Yahia (1997), establece para mango valores que van desde los 16 a los 21 % de SST en frutos completamente maduros, lo cual se encuentra dentro de los valores encontrados en este estudio.



\* Desviaciones estándar

Figura 2. Comportamiento de sólidos solubles totales en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.

En la Figura 2, se observa un marcado incremento en los SST durante los días del experimento debido al comportamiento fisiológico (climatérico) de los frutos. Los frutos tratados con 1-MCP presentaron los valores de SST mas bajos para el séptimo día de almacenamiento (12 °Brix), mientras que los frutos testigo y los tratados con ethrel a la

misma fecha ya acumulaban 15 y 17 °Brix respectivamente. Nuestros resultados muestran que el 1-MCP retarda la maduración y por consecuencia, la degradación de macro moléculas como almidón y pectinas se ve aplazada, mientras que el ethrel avanza más rápido la degradación y el incremento en SST (Wills *et al.*, 1998).

#### Acidez Titulable (%AT)

La acidez del fruto es expresada principalmente en términos de ácido cítrico o málico. (IFT, 1990) Cuando la fruta son cosechadas en madurez fisiológica, la fruta presenta una acidez alta, sin embargo su reducción durante la maduración juega un papel importante en el balance azúcar/ácido y consecuentemente en el sabor del fruto.

En el análisis de varianza para la acidez titulable no existió diferencia estadística entre los tratamientos, sucediendo lo contrario al analizar los distintos niveles del tiempo ( $P=0.000$ ), mientras que la interacción tratamiento tiempo fue no significativa (ver apéndice Cuadro 8.1).

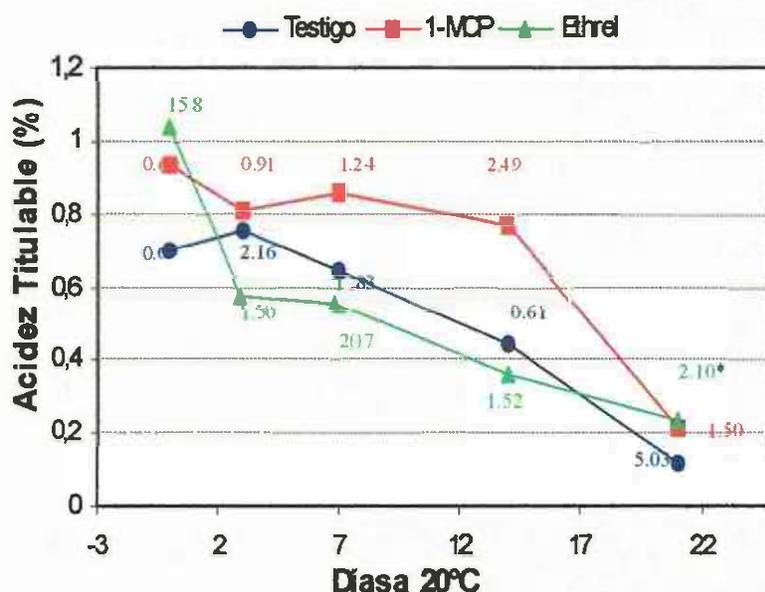
Cuadro 8. Valores de acidez titulable en frutos de mango tratados con 1-MCP, ethrel y testigo almacenados a 20 °C por 21 días.

Días de almacenamiento a 20 °C	
Tiempo	Medias
0	0.89 <sup>a</sup>
3	0.68 <sup>ab</sup>
7	0.63 <sup>ab</sup>
14	0.52 <sup>b</sup>
21	0.18 <sup>c</sup>

\* Valores con letras distintas son estadísticamente diferentes ( $p<0.05$ ).

El Cuadro 8 indica los valores promedio del contenido de acidez en los frutos a través del tiempo. Estos valores muestran que esta variable se mantuvo sin cambios significativos los primeros 7 días de almacenamiento y que a los 14 días se manifiesta diferencia significativa respecto a la primera evaluación aunque no se observan diferencias significativas respecto a las evaluaciones realizadas a los 3 y 7 días de almacenamiento. De los 14 a los 21 días de almacenamiento la acidez muestra un

descenso más pronunciado siendo los valores de acidez obtenidos en esta evaluación significativamente mas bajos que los de las evaluaciones anteriores. El contenido de ácidos decrece usualmente durante la maduración debido a la utilización de los ácidos orgánicos durante la respiración o su conversión a azúcares (Kader y Barret, 1996)



\*Desviaciones estándar

Figura 3. Comportamiento de acidez titulable (%) en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.

Aunque los resultados del ANOVA no arrojaron diferencias significativas en los efectos de los tres tratamientos en la figura 3, se muestra que el 1-MCP fue mas efectivo para conservar los frutos con mayor concentración de acidez con 0.8 % de ácido cítrico hasta los catorce días de almacenamiento, mientras que los frutos tratados con ethrel mostraron valores menores al 40% para el mismo periodo, lo cual se pudo deber a que estos estuvieron sometidos a mayores tasas respiratorias, utilizando para ello sustrato de ácidos orgánicos, tal y como lo afirman Ruiz y Guadarrama (1992).

García *et al.* (2001), reportan para mango Keitt en condiciones de almacenamiento de 23±2°C por un periodo de 12 días, valores de acidez 0.31 y 0.38% para frutos tratados con 1-MCP a 125 y 250 ppb, respectivamente, lo cual es inferior a los resultados de este

estudio para los frutos tratados con 1-MCP por 180 ppb. Esta diferencia posiblemente se deba a que las dosis de 1-MCP y condiciones de almacenamiento no fueron similares.

Báez *et al.* (1991), estudiaron el efecto del proceso de empacado en el comportamiento poscosecha del mango en las variedades Tommy Atkins, Haden y Kent, seleccionando frutos en los diferentes pasos del proceso de empacado como son: recepción, lavado, tratamiento hidrotérmico y empaque. Un lote de frutos fue almacenado directamente bajo condiciones de mercadeo (20 °C y 60-65 % HR), otros dos grupos de frutos fueron almacenados a temperaturas de 5 y 10 °C y posteriormente transferidos a condiciones de mercadeo, respectivamente, procediendo a muestrear cada tercer día el comportamiento de la acidez titulable. Ellos mencionan que la acidez en todos los casos tendió a disminuir desde valores de 0.4% hasta valores tan bajos como 0.05% mismos que son muy inferiores a los encontrados en el presente estudio.

Vásquez-Salinas y Lakshminarayana (1985), encontraron en mangos variedad Keitt en estado maduro, almacenados a temperaturas de 16, 18, 20, 22, y 25°C., valores de acidez titulable de 0.10, 0.02, 0.05, 0.05, 0.08 y 0.04 respectivamente. Tomando en cuenta el estado de madurez en el momento de la evaluación de los frutos podemos afirmar que estos valores están muy por debajo de los encontrados en el presente estudio.

Lederman *et al.* (1997), estudiaron la capacidad de formar etileno en frutos de mango variedad Keitt a diferentes condiciones de almacenamiento, entre ellas, a 20 °C y 85% de humedad relativa. Los valores de acidez titulable que reportan para los mangos almacenados bajo condiciones de mercadeo son: 0.8, 0.8, 0.4, y 0.2 a los 0, 7, 14, y 21 días de almacenamiento. Estos valores son parecidos a los encontrados en el presente trabajo.

### Relación Brix/Acidez (RBA)

La RBA influye directamente sobre la percepción del sabor de los frutos. En la medida en que el proceso de maduración se desarrolla, esta relación cambia ya que disminuye el porcentaje de acidez y el contenido de azúcares aumenta, cambiando el sabor. El balance de estos componentes del fruto es indicador de un adecuado proceso de maduración.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza indican que existen diferencias estadísticas altamente significativas en los efectos de los tratamientos sobre el comportamiento de esta variable ( $P=0.008$ ), lo mismo sucede con el factor tiempo ( $P=0.000$ ) (Cuadro 9.1).

Cuadro 9. Valores de RBA en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, almacenados a temperaturas de 20 °C por 21 días.

Tratamiento	Media	Días de almacenamiento a 20 °C	
		Tiempo	Medias
1-MCP	29.3 <sup>C</sup>	0	19.48 <sup>C</sup>
ethrel	57.8 <sup>A</sup>	3	31.33 <sup>BC</sup>
testigo	44.2 <sup>B</sup>	7	34.50 <sup>BC</sup>
		14	41.82 <sup>B</sup>
		21	91.89 <sup>A</sup>

\* Valores con letras distintas son estadísticamente diferentes ( $p<0.05$ ).

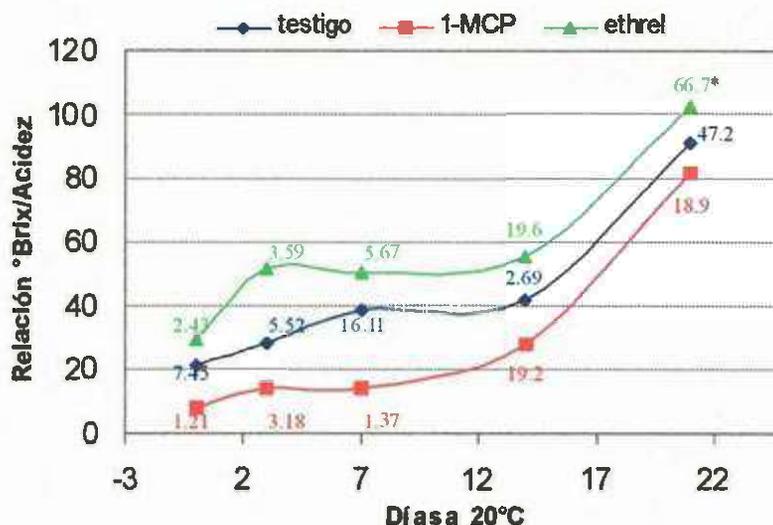
Como se observa en el cuadro 9, los frutos tratados con 1-MCP tuvieron los valores promedio de RBA más bajos lo que indica un retraso en la maduración de los frutos, mientras que los tratados con ethrel tuvieron los valores de RBA más altos que indica un adelanto en la maduración, observándose diferencias estadísticas significativas entre los valores de estos tratamientos respecto al testigo y diferencias entre sí. En cuanto al factor tiempo las diferencias estadísticas se observan entre la evaluación del día 0, 14 y 21, lo se debe a que mientras en los primeros días de almacenamiento los niveles de acidez en los frutos son elevados, los niveles de SST son bajos, por lo cual los valores de RBA son bajos, conforme el fruto madura disminuye la acidez y se incrementan los niveles de SST, incrementándose con ello los valores de RBA.

Marin y Cano (1992), estudiaron el comportamiento de la RBA en frutos de mango de las variedades 'Lippens' y 'Smith' los cuales fueron almacenados a temperatura de 12 °C y 85-90 % HR y evaluados a los 1, 4, 8, 10, 12, 16, y 19 días de almacenamiento y reportan valores de RBA=13.68, 22.88, 29.31, 54.81, 49.66, 57.68 y 72.27, respectivamente para la variedad 'Lippens' y de RBA=11.0, 15.06, 25.81, 26.64, 27.84, 32.88 y 31.91 para 'Smith'. Los valores reportados por estos investigadores para el caso de la variedad Lippens son parecidos a los encontrados en el presente trabajo, no así para el caso de la variedad Smith, cuyos valores son inferiores, aunque hay que considerar que la temperatura de almacenamiento es menor y eso ayuda a mantener alta la acidez titulable y un desarrollo mas lento de los sólidos solubles totales.

Lo anterior puede significar que el ethrel aceleró la maduración de los frutos tal y como lo reportan Ruiz y Guadarrama (1992), quienes afirman que el etileno como inductor de maduración incrementa los niveles de azúcares a expensas del almidón presente incrementado los sólidos solubles y además disminuye los niveles de acidez, en ambos casos no a niveles fuera de la normal, es decir de los frutos sin tratar. Medlicot *et al.* (1990), plantean que indicadores físicos de maduración como el ablandamiento del fruto y el cambio de color requieren aplicación de menor concentración de etileno que los indicadores bioquímicos como son la pérdida de acidez y acumulación de sólidos solubles.

Báez *et al.* (1991), mencionan que valores de RBA mayores de 40 son característicos de frutos sobremaduros. En el presente trabajo, los frutos tratados con ethrel exceden en 20.9 unidades el valor de referencia lo cual puede indicar en términos generales un adelanto en la maduración tomando en cuenta que son valores promedio, mientras el testigo presentó 44.2 por el contrario los tratados con 1-MCP tuvieron una media de 29.3 lo cual indica un posible retraso en la maduración mientras que los frutos tratados con ethrel tuvieron un valor promedio de 57.8 indicando con ello un posible adelanto en la maduración.

La Figura 4 muestra que en los primeros 14 días de almacenamiento, los frutos tratados con 1-MCP y testigo, mantuvieron valores de RBA menores de 40, los frutos tratados con ethrel a los 3 días de almacenamiento ya presentaban valores promedio de 50, indicando con ello un posible adelanto en la maduración.



\*Desviaciones estándar

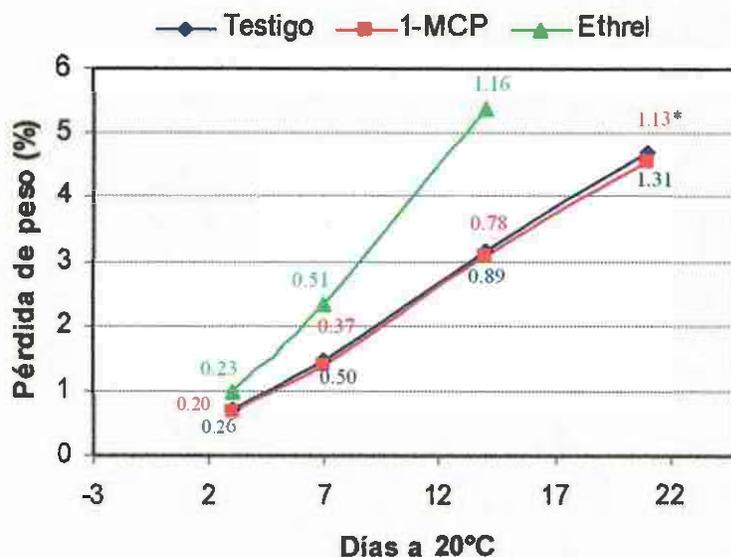
Figura 4. Comportamiento de la relación brix/acidez en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.

#### VARIABLES DE NATURALEZA FÍSICA

##### Pérdida de Peso

La pérdida de peso es una variable dependiente de la velocidad de transpiración del fruto y en menor porcentaje involucra a la pérdida de agua ocasionada en diversos procesos fisiológicos. Un rango de 3 a 5% del total de la pérdida de peso puede ser atribuido a la respiración, sin embargo la generación de calor dentro del fruto puede indicar una pérdida de peso adicional (Ben-Yehoshua, 1987).

Nuestros resultados muestran diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos ( $P=0.000$ ); tiempos ( $P=0.000$ ) y la interacción entre estos dos factores ( $P=0.000$ ) (ver apéndice Cuadro 10.1).



\*Desviaciones estándar

Figura 5. Comportamiento de pérdida de peso en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo almacenados a 20 °C.

No se encontró diferencia significativa en la pérdida de peso entre los frutos tratados con 1-MCP y testigo durante los 14 días de almacenamiento, presentando una pérdida de peso promedio de 0.21%/día, mientras que en los tratados con ethrel fue de 0.38%/día y estadísticamente diferente. Posterior a los 14 días de almacenamiento, no fue posible evaluar la pérdida de peso en los mangos tratados con ethrel, debido a que los frutos carecían de calidad, debido al compuesto químico. Este comportamiento se puede relacionar con la máxima actividad respiratoria de los frutos (Figura 12).

Siller *et al.* (1994), reportan valores en pérdida de peso de 3.21 % para variedad Kent después de almacenamiento por 15 días a temperaturas de 20 °C. García *et al.* (2001), reportan valores de pérdida de peso que van de 2.7, 2.7, 3.0, 3.2 y 2.9 % en frutos tratados con 1-MCP en dosis 30, 62, 125, 250 y 350 ppb almacenados por 12 días a 23 °C, para el caso de mango Keitt. Los valores encontrados en el presente estudio fueron inferiores a los reportados en la literatura, lo cual tal vez se puede deber al efecto de estado de madurez y tamaño de los frutos así como las condiciones de almacenamiento

en términos de humedad relativa (Wills *et al.*, 1998). Mientras que Muy (2002), observó que frutos de mango CV. Keitt almacenados por 14 días a temperatura de 20 °C a 93 y 63 % HR mostraron una pérdida de peso igual a 2.8%, la cual se incrementó a 11.2% cuando se almacenaron a la misma temperatura y 63% de humedad relativa.

#### Firmeza

La firmeza es una de las características más importantes para evaluar el grado de madurez en varios frutos y vegetales (Muramatsu *et al.*, 1996). El principal factor para determinar el deterioro poscosecha de los frutos, es el grado de ablandamiento, el cual tiene influencia en la vida de anaquel, pérdidas por infección de patógenos en poscosecha y limitaciones en el transporte y ablandamiento, por lo que todo esto afecta directamente en los costos (Brummell y Harpster, 2001). Por lo tanto, como parámetro de calidad, la firmeza reviste fundamental importancia para algunos frutos como el mango. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos ( $P=0.000$ ), al igual que en el factor tiempo ( $P=0.000$ ) y la interacción ( $P=0.025$ ) (ver apéndice Cuadro 11.1)

De manera general, la firmeza disminuye conforme el fruto madura. Los frutos tratados con ethrel tuvieron una caída rápida en los valores de firmeza, desde la segunda fecha de medición siendo al final del estudio los que presentaron los valores promedio más bajos (17.05). Los frutos tratados con 1-MCP retardaron la pérdida de firmeza y fueron más consistentes que los tratados con ethrel y el testigo, hasta los 14 días. En promedio los valores de firmeza mas altos (76.8), fueron para tratados con 1-MCP, mientras que los frutos testigo tuvieron promedios de 58.2 Newtons.

Cuadro 10. Valores de firmeza en frutos tratados con 1-MCP, ethrel y testigo posteriormente almacenados a 20°C.

Días de almacenamiento a 20 °C						
Tratamiento	0	3	7	14	21	Media
1-MCP	125.8 <sup>a<sub>a</sub></sup>	106.3 <sup>a<sub>a</sub></sup>	113.6 <sup>a<sub>a</sub></sup>	29.8 <sup>a<sub>a</sub></sup>	8.5 <sup>b<sub>a</sub></sup>	76.8 <sup>a</sup>
Ethrel	61.1 <sup>b<sub>b</sub></sup>	6.9 <sup>b<sub>b</sub></sup>	6.4 <sup>b<sub>b</sub></sup>	4.4 <sup>a<sub>a</sub></sup>	6.4 <sup>a<sub>a</sub></sup>	17.05 <sup>b</sup>
Testigo	130.4 <sup>a<sub>a</sub></sup>	97.3 <sup>a<sub>a</sub></sup>	43.7 <sup>b<sub>b</sub></sup>	11.9 <sup>a<sub>a</sub></sup>	7.8 <sup>a<sub>a</sub></sup>	58.2 <sup>a</sup>
Media	105.8 <sup>a</sup>	70.1 <sup>ab</sup>	54.6 <sup>bc</sup>	15.4 <sup>cd</sup>	7.6 <sup>d</sup>	

\* Valores entre columnas con letras distintas son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

\* Las letras en superíndice corresponden a las comparaciones de los efectos del factor tiempo en los tratamientos.

\* Letras en subíndice corresponden a las comparaciones de los efectos de tratamientos en el tiempo

Los efectos del tiempo sobre la firmeza de los frutos fueron evidentes en la medida en que transcurrieron los días de almacenamiento. En el cuadro 10 se pueden observar de manera clara los efectos contrastantes del ethrel y el 1-MCP en los mangos. Por un lado, en los frutos tratados con ethrel la firmeza disminuyó drásticamente de 61 Newtons que tenían al inicio del estudio hasta 6 Newton durante los primeros tres días de almacenamiento, permaneciendo constante hasta el final del estudio. Mientras que en los frutos tratados con 1-MCP la firmeza pasó de 125 Newtons al inicio del estudio, a 106 para los 3 días de almacenamiento no presentando diferencia estadística significativa con los frutos testigo. Posterior a esta fecha, se observó diferencia significativa en la firmeza de los frutos, siendo los mangos tratados con 1-MCP los que mostraron los valores más altos en esta variable, teniendo para el día 7 valores de 113.6 contra 43.7 Newtons en los frutos testigo y 6.4 de los frutos tratados con ethrel. Para los 21 días de almacenamiento los frutos de los 3 tratamientos sufrieron una pérdida casi absoluta en los valores de firmeza. Tomando en cuenta que un valor de 20 Newtons, es considerado como el valor mínimo de firmeza en mangos con calidad comercial, se puede afirmar que únicamente los frutos tratados con 1-MCP sostuvieron esta característica hasta los 14 días (Báez, 1998).

Lo anterior puede significar que el etrel influyó en la firmeza de los frutos induciendo la hidrólisis de los componentes de la pared celular y provocando como consecuencia el ablandamiento (Mitcham y McDonald 1992). Por el contrario el uso de 1-MCP retardo la pérdida de firmeza. Efectos similares reportan García *et al.* (2001), al medir la firmeza de la base y el ápice de frutos de mango cv. Keitt tratados con 1-MCP en dosis de 62 ppb. Y almacenados bajo simulación de mercadeo por 12 días, obtuvieron resultados de 33.3 y 21.4 Newtons respectivamente, contra 7.5 y 9.3 del testigo.

Mitcham y McDonald (1992), midieron la firmeza en el mesocarpio interno y externo de frutos de mango Keitt en estado verde maduro almacenados a 20 °C después de haber sido tratados con Imazilil (1000 ppm) durante 3 minutos y reportan valores ligeramente superiores a 100 Newtons para el mesocarpio externo mientras que para el mesocarpio interno los valores que ellos encontraron fueron cercanos a los 40 Newtons. Fan *et al.* (2000), mencionan que aplicaciones de 1-MCP fueron efectivas para mantener la firmeza de frutos de chabacano almacenados a temperaturas de 20 °C durante 10 días.

Marín y Cano (1992), en un trabajo desarrollado con frutos de mango de las variedades Smith y Lippens almacenados a 12 °C y 85 % de humedad por un periodo de 20 días, observaron que la actividad de la peroxidasa aumenta de manera constante conforme avanza el proceso de maduración en ambas variedades, observando para la variedad 'Smith' una mayor actividad de esta enzima asociado con una reducción de la firmeza de 7.32 N/g a 3.76 N/g.

Sergent *et al.* (1992), aplicaron tratamientos de 1000, 2000, y 4000 ppm. de etefon en frutos de mango Keitt sumergiéndolos por 1 y 2 minutos respectivamente en la solución con dichas concentraciones y almacenándolos con una temperatura de 26.7 y 73% de humedad relativa. La firmeza de los frutos tratados con etefon decayó de 160 hasta 40 Newtons y en el caso de los frutos testigos estos perdieron firmeza conforme avanzó el estudio y nunca alcanzaron los niveles de ablandamiento de los frutos expuestos a etefon.

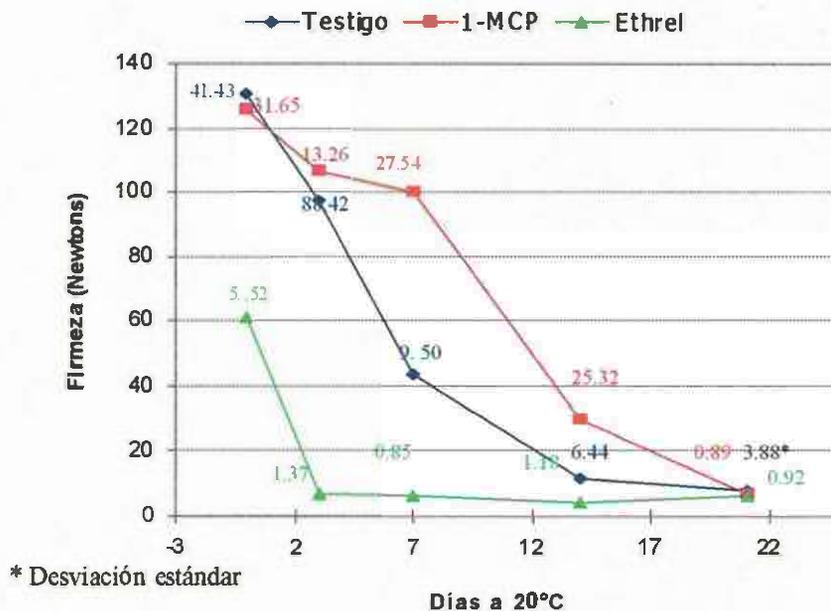


Figura 6. Comportamiento de firmeza en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.

La Figura 6 muestra como los frutos tratados con ethrel manifestaron una pérdida de firmeza de manera inmediata a partir del tercer día de almacenamiento contrariamente a los que sucedió con los frutos tratados con 1-MCP, mismos que mantuvieron valores de firmeza aceptable al menos hasta los 14 días de almacenamiento.

#### Color de Cáscara

El color de la cáscara es un importante componente de la calidad del fruto y como tal, juega un papel determinante en la selección por el consumidor (Francis, 1980) Durante la maduración la mayoría de las variedades de mango cambian de color verde a amarillo o naranja mostrando seguido un rubor rojo (Medlicott *et al.*, 1986).

Luminosidad (L). En el análisis de varianza se observó que no existe diferencia estadística significativa en los efectos de los tratamientos, tampoco entre los diferentes niveles de tiempo así, como en la interacción entre ambos, en la luminosidad de la cáscara de los frutos (ver apéndice Cuadro 12.1).

Cromaticidad (C). Mediante el análisis de varianza se estableció que no existe diferencia estadística en los efectos de los tratamientos y la interacción en el desarrollo de esta variable y que solo el factor tiempo mostró una diferencia altamente significativa ( $P=0.000$ ), (ver apéndice Cuadro 13.1).

Cuadro 11.- Valores de cromaticidad de la cáscara en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados 20 °C.

Días de almacenamiento a 20 °C	
Tiempo	Medias
0	39.0500 <sup>b</sup>
3	38.5567 <sup>b</sup>
7	38.8944 <sup>b</sup>
14	47.8522 <sup>a</sup>
21	53.6089 <sup>a</sup>

\* Valores con letras distintas son estadísticamente diferentes ( $p<0.05$ ).

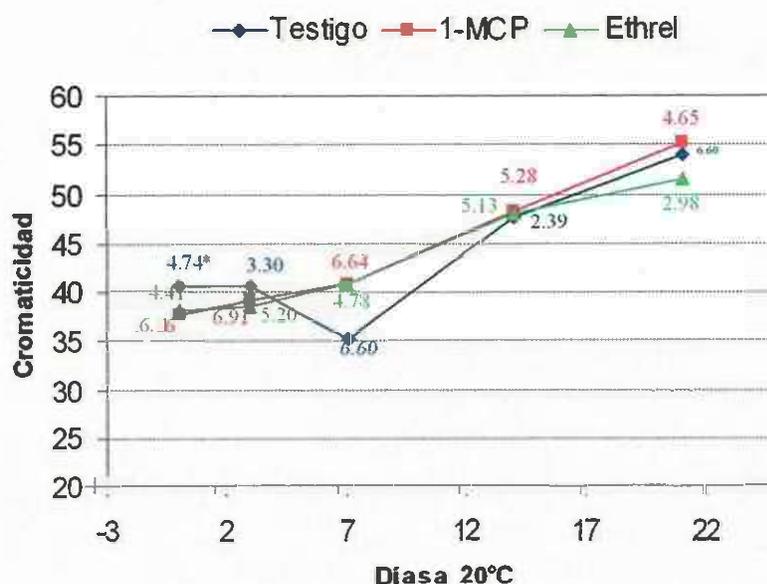
Como se observa en el Cuadro 11, la saturación del color de los frutos de los 3 tratamientos en los primeros 7 días no presentó diferencias estadísticas significativas, manifestando colores menos saturados o impuros, lo cual cambió a partir de los 14 días de almacenamiento, en que se produjo una mayor saturación del color en todos los tratamientos (Figura 7), observándose a partir de esta evaluación una diferencia estadística significativa con respecto a las tres primeras evaluaciones.

La máxima saturación de color se observó en los frutos tratados con etrel con valores promedio de  $C = 56$ , similar al testigo; mientras que los frutos expuestos a 1-MCP fue de  $C = 52$  (Figura 7).

Mitcham y McDonald (1992) midieron la cromaticidad del color de cáscara en frutos de mango cv. 'Keitt' y 'Tommy Atkins' en 5 estados de desarrollo que clasificaron como verde-maduro, firme, muy firme, maduro-blando y sobre maduro. Los valores reportados de a y b, transformados a cromaticidad en la pulpa de mango de la variedad Keitt en los diferentes estados de madurez fueron de  $C = 26.41, 25.31, 28.44, 30.14$  y

34.05, respectivamente lo cual no coincide con el desarrollo del croma del color de cáscara de los frutos del presente experimento. Esto se debe posiblemente a que la valoración de los diferentes estados de madurez de los frutos en el trabajo referido se realizó de manera subjetiva en base a la percepción de la firmeza de los frutos.

Ángulo de matiz ( $^{\circ}$ Hue). El análisis de varianza para  $^{\circ}$ Hue indicó que existe diferencia estadística altamente significativa en el efecto de los tratamientos ( $P=0.003$ ) y el factor tiempo ( $P=0.000$ ), no así para la interacción entre ambos factores (ver apéndice Cuadro 14.1).



\*Desviación estándar

Figura 7. Comportamiento de cromaticidad de cáscara en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.

Cuadro 12. Valores de ángulo de matiz (°Hue). de color de cáscara en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados 20 °C.

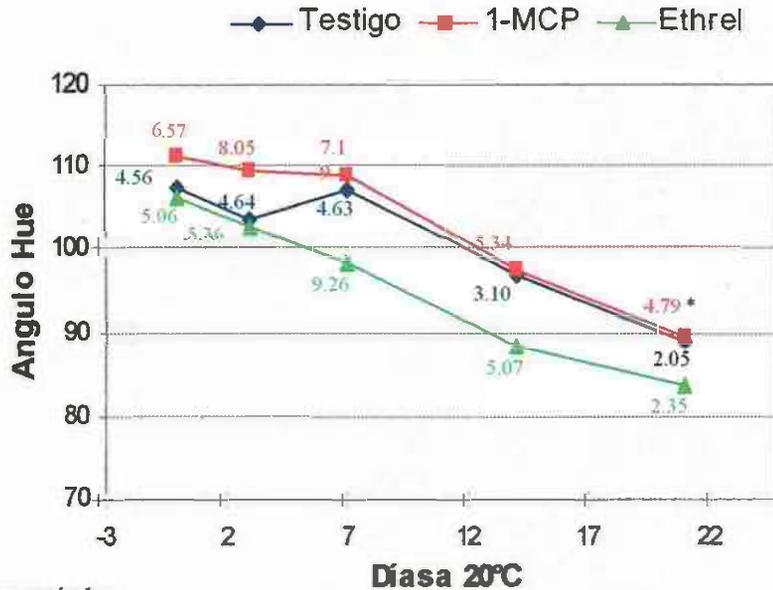
tratamiento	Media
1-MCP	103.32 <sup>a</sup>
ethrel	95.21 <sup>b</sup>
Testigo	100.80 <sup>a</sup>

Días de almacenamiento a 20 °C	
Tiempo	Medias
0	107.66 <sup>a</sup>
3	104.88 <sup>a</sup>
7	104.33 <sup>a</sup>
14	93.33 <sup>b</sup>
21	86.88 <sup>b</sup>

\* Valores con letras distintas son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

El Cuadro 12, se muestra que los tratamientos 1-MCP y testigo no tuvieron diferencia estadística en sus efectos sobre el °Hue del color de la cáscara, presentando valores de 103.3 y 100.8 respectivamente, mientras que al ser comparados cada uno de ellos con los efectos del tratamiento ethrel este último alcanzó valores promedio de °Hue=95.2, lo cual lo hace estadísticamente diferente.

Los valores encontrados mediante la comparación de medias de tratamientos nos indican que los frutos tratados con ethrel tuvieron degradación de la clorofila e inducción de la síntesis de carotenoides de manera más acelerada en comparación con los tratados con 1-MCP y testigo, considerando que la disminución de los valores de °Hue significan un cambio del color verdadero de los frutos de verde-amarillo a amarillo-verdoso.



\*Desviaciones estándar

Figura 8. Comportamiento de °Hue de cáscara en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.

En general, respecto a los efectos del factor tiempo, los cambios en el color verdadero de los frutos se manifestaron a partir de los 14 días de almacenamiento (Figura8), mostrando diferencia estadística las dos últimas fechas respecto a las tres primeras evaluaciones. Los frutos cambiaron de un color verde- claro que tenían en los primeros 7 días del experimento, se tornaron a un color amarillo para los 14 días de almacenamiento, terminando en un color amarillo naranja.

Carrillo *et al.* (2000), probaron la efectividad de cubiertas de frutos de mango variedad Haden con tres concentraciones diferentes almacenándolos posteriormente a 13°C y 85% de RH por un período de 32 días con evaluaciones cada 4 días. Midieron el °Hue de color de cáscara y los valores que reportan al inicio del trabajo son de 120 y al final con excepción del tratamiento testigo cuyos valores descendieron hasta 75, la medición de los frutos tratados presento valores parecidos a los del presente estudio, en donde se retuvo el desarrollo de color.

Kader (1985), menciona que el etileno acelera la degradación de la clorofila e induce el amarillamiento de los tejidos verdes, reduciendo así la calidad comercial de hortalizas de hoja, flores y frutos inmaduros.

#### Color de Pulpa

El cambio de color de la pulpa de los mangos se atribuye principalmente a la síntesis de carotenoides reflejándose tonalidades de amarillo ligero, amarillo, naranja y rojo-naranja (Hulme, 1971).

Luminosidad (L). El análisis de varianza para la luminosidad del color de la pulpa indicó que existe diferencia altamente significativa de los tratamientos ( $P=0.003$ ) así como del factor tiempo durante el desarrollo de esta variable ( $P=0.000$ ), aunque en la interacción de estos dos factores no se observó efecto significativo (ver apéndice Cuadro 15.1).

Cuadro 13.- Valores de luminosidad de color de pulpa en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados 20 °C.

Tratamiento	Media
1-MCP	69.3360 <sup>a</sup>
Ethrel	64.2920 <sup>b</sup>
Testigo	65.7607 <sup>b</sup>

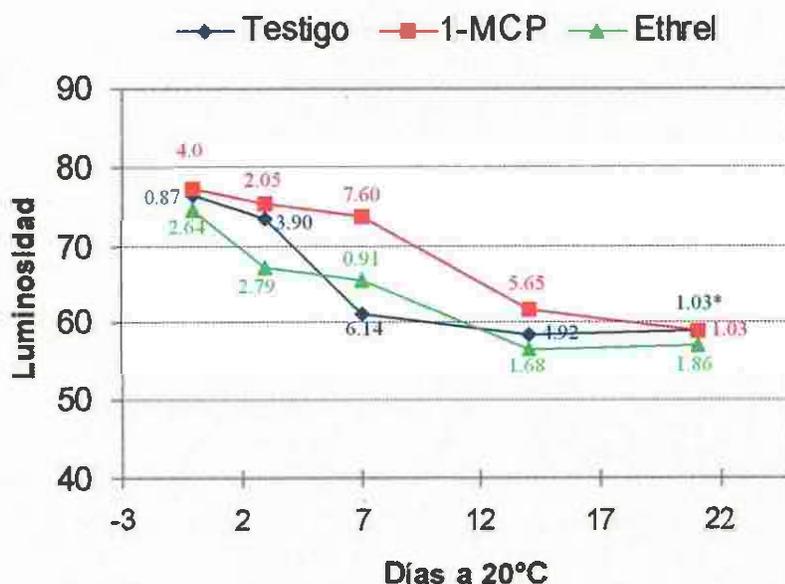
Días de almacenamiento a 20 °C	
Tiempo	Medias
0	75.9667 <sup>a</sup>
3	71.9967 <sup>ab</sup>
7	66.8500 <sup>b</sup>
14	58.5522 <sup>c</sup>
21	58.9711 <sup>c</sup>

\*Valores con letras distintas son estadísticamente diferentes ( $p<0.05$ ).

Como lo muestra el Cuadro 13 al final del estudio los frutos tratados con 1-MCP tuvieron un valor de luminosidad mayor (69.33) que los frutos tratados con Ethrel y testigo (64.29 y 65.76, respectivamente) lo anterior indica que frutos tratados con 1-MCP permanecieron mas claros a través del tiempo.

Al final del trabajo, la luminosidad de la pulpa de los frutos de los tres tratamientos es muy parecida, donde el color más oscuro correspondió a los frutos tratados con ethrel. El cambio de luminosidad de la pulpa de los frutos se presentó de una mayor luminosidad que le correspondió a un color crema hacia una menor luminosidad para un color naranja.

Siller *et al.* (1994) , reportan valores de luminosidad de 71 a 63 en el color de pulpa en diferentes clones de mango expuestos por 15 días a 20 °C, donde el cultivar ‘Kent’ desarrolló un valor similar de luminosidad de pulpa que el mango ‘Keitt’ de este trabajo.



\*Desviación estándar

Figura 9. Comportamiento de luminosidad de pulpa en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.

Como se aprecia en la Figura 9, durante los primeros 14 días de almacenamiento los frutos tratados con 1-MCP manifestaron valores mas elevados de luminosidad de la pulpa en comparación con los frutos testigo y los tratados con ethrel, indicando posiblemente que al retrasar la velocidad de maduración por efectos del 1-MCP. La síntesis de pigmentos de la pulpa se ve afectada, retrazando el cambio de amarillo claro

a amarillo oscuro, ya que el proceso de maduración trae como consecuencia cambios en la síntesis de pigmentos de los frutos y el desarrollo de sabor, entre otras características (Wills *et al.*, 1998).

Cromaticidad (C). El ANOVA para cromaticidad del color de pulpa arrojó como resultado que existe diferencia altamente significativa en los efectos de los tratamientos (P=0.001) así como del factor tiempo (P=0.000), no siendo lo mismo para la interacción (ver apéndice Cuadro 16.1)

Cuadro 14.- Valores de cromaticidad de color de pulpa en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados 20 °C.

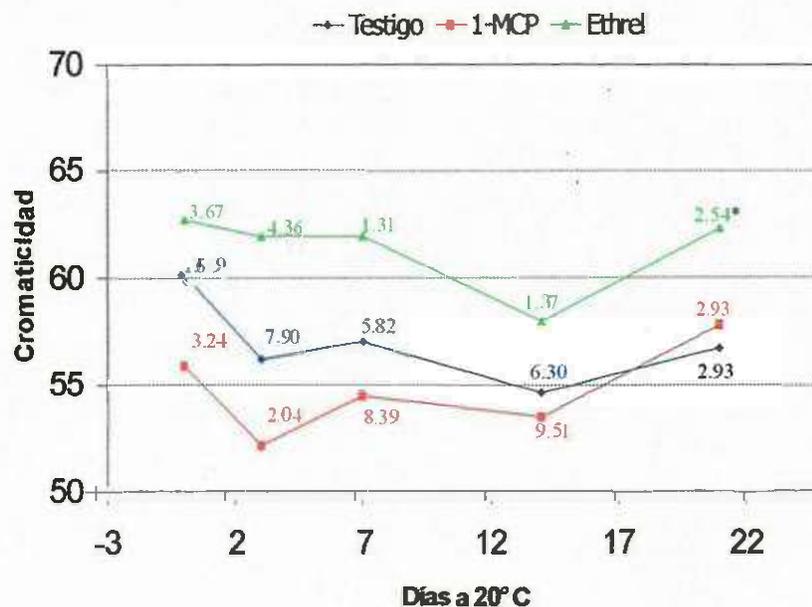
Tratamiento	Media
1-MCP	55.4887 <sup>b</sup>
ethrel	61.3507 <sup>a</sup>
Testigo	56.0733 <sup>b</sup>

Días de almacenamiento a 20 °C	
Tiempo	Medias
0	59.5156 <sup>a</sup>
3	56.2278 <sup>ab</sup>
7	58.7167 <sup>a</sup>
14	51.6489 <sup>b</sup>
21	60.3478 <sup>a</sup>

\*Valores con letras distintas son estadísticamente diferentes (p<0.05).

La prueba de comparación de medias de los tratamientos muestra que existen diferencias en la saturación de color de los frutos tratados con ethrel (valores más altos con una media de C=61.30), en comparación con los tratamientos 1-MCP (C=55.48) y testigo (C=56.07) (Cuadro 14), siendo estos últimos estadísticamente iguales.

Los frutos que durante el período de estudio alcanzaron una mayor saturación del color de pulpa fueron los tratados con ethrel, mientras que los más bajos fueron los frutos testigo y tratados con 1-MCP, desarrollando una menor saturación del color (figura 10). Por lo tanto, el efecto del ethrel provocó a lo largo del estudio una mayor síntesis de carotenoides, y con ello más saturación del color en la pulpa de los frutos. Efectos similares de ethrel sobre la saturación de color reportados por Medlicot *et al.* (1990) y An Jo-Feng y Paull (1990), presentan patrones similares en el desarrollo de la saturación de color.



\*Desviación estándar

Figura 10. Comportamiento de cromaticidad de pulpa en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.

Ángulo de matiz (°Hue). El color verdadero (°Hue) de pulpa indica que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos ( $P=0.000$ ), así como a través tiempo ( $P=0.000$ ). La interacción de estos dos factores no fue estadísticamente significativa para esta variable (ver apéndice Cuadro 17.1).

Cuadro 15.- Valores de °Hue en pulpa de frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados 20 °C.

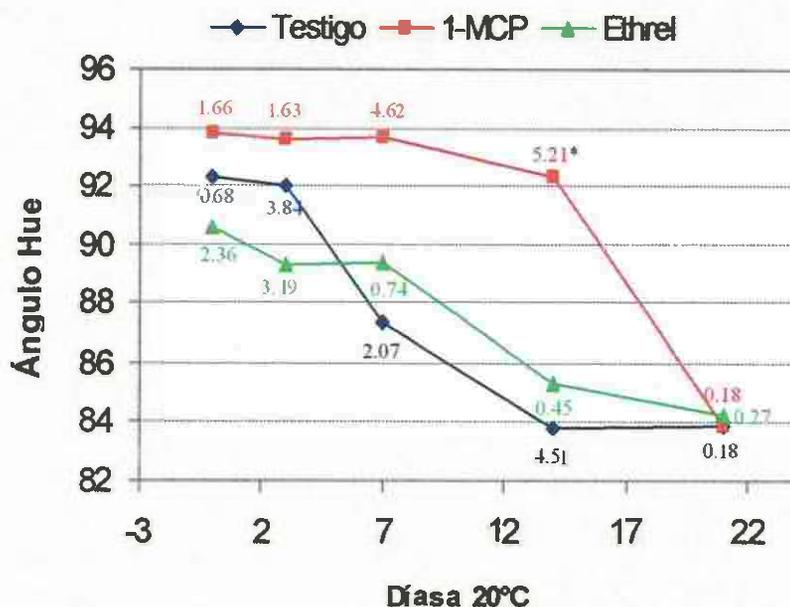
TRATAMIENTO	MEDIA	Días de almacenamiento a 20 °C	
		Tiempo	Medias
MCP-1	91.4487 <sup>a</sup>	0	91.1211 <sup>a</sup>
Ethrel	87.1067 <sup>b</sup>	3	91.6322 <sup>a</sup>
Testigo	87.8653 <sup>b</sup>	7	90.1478 <sup>ab</sup>
		14	87.1511 <sup>bc</sup>
		21	83.9822 <sup>c</sup>

\*Valores con letras distintas son estadísticamente diferentes ( $p<0.05$ ).

La comparación de medias del °Hue de color de pulpa de los frutos, entre los efectos de los tratamientos mostró que los frutos tratados con 1-MCP presentaron valores mas altos (°Hue=91.44), siendo diferentes estadísticamente con respecto a los frutos tratados con ethrel (°Hue=87.72) y frutos testigo (°Hue=87.57) (Cuadro 15), no encontrando diferencias entre estos últimos tratamientos. Los cambios de color en todos los tratamientos se manifestaron a partir del séptimo día de almacenamiento pasando del color crema a tonalidades crema-amarillo hasta el final que tomaron una coloración amarillo-naranja. Los frutos de mango en su madurez fisiológica presentan características de color de pulpa con tonalidades cremosas ligeramente amarillas que corresponden a un ángulo de matiz de 96, en nuestro estudio los frutos tratados con 1-MCP mantuvieron características de color de pulpa menos amarilla que los otros tratamientos, lo cual se pudo deber al efecto de este producto ocasionando una menor síntesis de carotenoides.

Siller *et al.* (1994), midieron °Hue en pulpa de frutos de mango de la variedad Kent y los clones 'Osteen', 'Palmer', 'Fabian' y 'S1-25', almacenados por un periodo de 15 días a temperatura de 20°C y sin aplicación de producto. Los valores de de °Hue de los clones 'Osteen' y Palmer que reportan son de 85.75 y 88.24. Estos valores son similares a los obtenidos en los frutos testigo de este estudio, aunque inferiores a los valores de °Hue de color de pulpa de los frutos tratados con 1-MCP.

Mir *et al.* (1999), aplicaron 1-MCP con el objetivo de evaluar su respuesta en relación a la maduración y vida de anaquel de frutos de tomate con 5 clases de madurez, desde verde-maduro, a estado completamente maduro, observando que éste fue efectivo al inhibir el desarrollo de color rojo en todos los estados de madurez, sin embargo la efectividad fue mas notable en frutos con mayor valor del ángulo Hue (verde-maduro). En tomates verde-maduros, una sola aplicación retardó el desarrollo del color por 10 días, mientras que una segunda aplicación al día 10 retardó el desarrollo del color por otros 10 días. El 1-MCP no tuvo influencia en el cambio de color de los frutos en otros estados fisiológicos cuando se hizo una segunda aplicación.



\*Desviación estándar

Figura 11. Comportamiento de ángulo de matiz en pulpa en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, posteriormente almacenados a 20 °C.

Como se aprecia en la Figura 11, los frutos tratados con 1-MCP mantuvieron prácticamente el color de pulpa hasta los 14 días, mientras que la fruta testigo y tratada con ethrel sufrieron un cambio más notable para el día 7 y 14 de almacenamiento. Al final del estudio, los valores de los 3 tratamientos no presentaron diferencias entre ellos.

### Variables de naturaleza fisiológica

#### Respiración

El análisis de varianza, mostró que los tratamientos tuvieron efectos altamente significativos ( $P=0.000$ ), lo cual no sucedió con el factor tiempo ( $P=0.693$ ), ni con la interacción ( $P=0.787$ ) (ver apéndice Cuadro 18.1).

Al realizar la comparación de medias de los tratamientos se observó que la aplicación de 1-MCP con una media de 23.79, fue diferente estadísticamente de los frutos testigo y los tratados con ethrel cuyas medias fueron 32.59 y 35.06 respectivamente, no encontrándose diferencia entre estos dos tratamientos. Esto significa que la aplicación de 1-MCP disminuyó y retardó el pico climático con la respiración

de los frutos, deteniendo con ello su proceso de maduración, mientras la aplicación de etrel mostró un pico climatérico mayor y antes que el testigo, aunque no fue significativo. Herianus *et al.* (2003) reportan para mango 'Kensington Pride' un pico climatérico con valores máximos de 50.75 mL·CO<sub>2</sub>/Kg-h los cuales fueron alcanzados a los 4 días de almacenamiento bajo condiciones similares a las del presente estudio lo cual se puede deber a la diferencia de variedad. García *et al.* (2001), trabajando con la variedad Keitt tratados con 1-MCP con dosis de 125 ppb reportan valores entre 30 y 40 mL CO<sub>2</sub>/Kg-h durante un período de 12 días bajo las mismas condiciones de almacenamiento, valores muy similares a los encontrados en este estudio. Lieberman (1979), menciona que la aplicación de pequeñas cantidades de etileno provoca la producción autocatalítica del mismo, acelerando el proceso respiratorio a lo cual le llama un aumento climatérico de la respiración y esto ocurre especialmente en los frutos climatéricos como el mango. Por el contrario, los frutos tratados con 1-MCP a los 14 días aún no alcanzaron estos niveles, y se conservaron en pleno ascenso respiratorio con una producción de 33 mL CO<sub>2</sub>/Kg-h (Figura 12). Así mismo se observó que los frutos tratados con 1-MCP en los primeros 11 días de almacenamiento mostraron la tasa respiratoria mas baja.

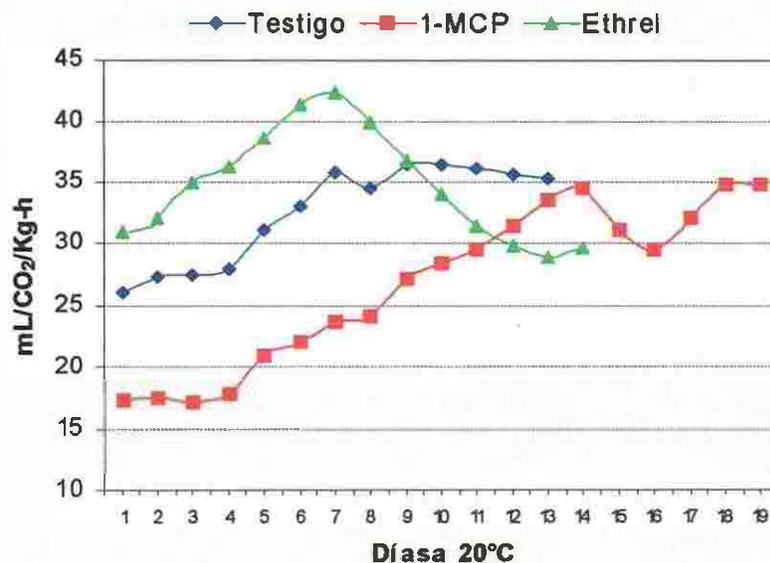


Figura 12. Comportamiento respiratorio en frutos de mango tratados con 1-MCP, etileno y testigo, almacenados a 20 °C.

## CONCLUSIONES

En base a la evaluación del efecto de la aplicación de 180 ppb de 1-MCP y 1000 ppm de ethrel en la velocidad de maduración de frutos de mango cv. Keitt se presentan las siguientes conclusiones.

Los resultados de la evaluación de las variables químicas como pH, sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable (% ácido cítrico) y la relación °Brix/acidez (RBA), reflejan que existe diferencias significativas por efecto de la aplicación del 1-MCP y del ethrel con relación a los frutos testigo. Donde el 1-MCP permitió retrasar la maduración de los frutos de mango, sucediendo lo contrario con el uso del ethrel.

En las variables físicas como pérdida de peso, firmeza y color, el uso de ethrel en los frutos mostró una mayor pérdida de firmeza y de peso, indicativo de igual manera un adelanto en la maduración de los frutos durante el almacenamiento. Caso contrario, lo presentaron los frutos tratados con 1-MCP, donde se observó un retraso en el cambio del color de pulpa a través del tiempo, indicando con ello un retraso en la maduración de los frutos.

El incremento respiratorio de los frutos se asoció con sus cambios químicos y físicos, donde los frutos tratados con 1-MCP mantuvieron una menor tasa respiratoria y un retraso en la aparición del pico climatérico, sucediendo lo contrario en los frutos tratados con ethrel.

Con la aplicación de ethrel en mangos cv. Keitt fue uniformizar y adelantar por 3 días la maduración de los frutos de mango. Mientras que el uso de 1-MCP retrazó al menos 3 días la maduración de frutos.

Se recomienda el estudio de otras dosis de ethrel y 1-MCP en la búsqueda de respuestas que permitan mejorar las condiciones de comercialización del mango.

## LITERATURA CITADA

- A.O.A.C., 1998. Official methods of analysis. 16<sup>th</sup> edition. Williams S., Ed. Published by Association of official analytical chemists. Washington, D.C.
- Aharoni Y., A. Copel and E. Fallik 1993. Storing 'Galia' melons in controlled atmosphere with ethylene absorbent. HortScience. 28(7):725-726.
- An Jo-Feng, Paull Robert E. 1990. Storage temperature and ethylene influence on ripening of papaya fruit. Journal American for Horticultural Science. 115(6):949-953.
- Robert P. E. and An Jo-Feng. 1990. Storage temperature and ethylene influence on ripening of papaya fruit. Journal American for Horticultural Science. 115(6):949-953.
- Akamine K. E. and T. Goo. 1973. Respiration and ethylene production during ontogeny of fruit. Journal American Society Horticultural Science 98(4):381-383.
- Arjona H. E. and F. B. Matta. 1991. Postharvest quality of passion fruit as influenced by harvest time and ethylene treatment. HortScience. 26(10):1297-1298
- Báez S. M., J. Siller, T. Heredia, E. Araiza, R. García y M. Muy. 1997. Fisiología poscosecha de frutos de chicozapote (*Achras sapota* L.) durante condiciones de mercadeo. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort 41:209-214.
- Báez S. R. 1998. Manejo y conservación del mango en poscosecha. Foro internacional de mango y otras frutas tropicales. Mazatlán Sinaloa Mex. Fira-Banco de México. 1-9 pp.
- Báez 1991. Efecto del proceso de empaquetado sobre el comportamiento poscosecha del mango. Tercer congreso mundial de tecnología de alimentos. Barcelona España. 5 pp.
- Baldwin E. A. and R. Pressey. 1988. Tomato polygalacturonase elicits ethylene production in tomato fruit. Journal American Society for Horticultural Science. 113 (1): 92-95.
- Baldwin E. A., J.K. Burns, W. Kazokas, J.K. Brecht, R.D. Hagenmaier, R.J. Bender and E. Pesis. 1999. Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during Storage. Postharvest Biology and Technology. 17:215-226.

- Bender R.J., J.K. Brecht, S.A. Sargent and D.J. Huber. 2000. Mango tolerance to reduced oxygen levels in controlled atmosphere Storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 125(6):707-713.
- Blakesley C. N., J.G. Loots, L.M. Plessis, G. Bruyn. 1979. Irradiation of subtropical fruits 2. Volatile components, lipids, and amino acids of mango, papaya, and strawberry pulp. *Journal Agric. Food Chemistry*. 27(1):42-48.
- Blankenship S. M. and E.C. Sisler. 1993. Ethylene binding site affinity in ripening apples. *Journal American Soc. Hort. Sci*. 118(5):609-612.
- Bondad N. D. 1976. Response of some tropical and subtropical fruits to pre-and post-Harvest applications of ethephon. *Economic botany* 30:67-80.
- Bongwoo R. and Bruemmer J.H. 1981. Changes in pectic substances and enzymes during ripening and storage of "Keitt" mangos, *Journal of food Science* 46:186-189.
- Bourne M. C. 1980. Texture evaluation of horticultural Crops. *HortScience*. 15(1):51-57.
- Bower J. and Mitcham B. 2001. Further reading on 1-MCP. *Perishables Handling Quarterly*. Department of Phomology, UC Davis. 108(2001):28-29. *Perishables Handling Quarterly*. Department of Phomology, UC Davis. 108(2001):25-27.
- Brummell, D. A., y Harpster, M. H., 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Molecular Biology*, 47:311-340.
- Burdon J. and ClarkC. 2001. Effect of postharvest water loss on " Hayward" kiwifruit water status. *Postharvest Biology and Technology* 22: 215-225
- CAADES 2001 Confederación de Asociaciones Agrícolas del Estado de Sinaloa Resultados de la exportación de hortalizas, Departamento de estudios económicos. Culiacán, Sinaloa, México.
- Cambell R. J., 1992. A guide to mango in Florida. Published by Fairchild Tropical Garden. Miami Fla. 93 p
- Cameron A. C. and M. Reid. 2001. 1-MCP blocs ethylene-induced petal abscission of *pelargonium peltatum* but the effect is transient. *Postharvest Biology and Technology*. 22:169-177.
- Carrillo L. A., R. Bustamante, J.B.T. Valdez and R. Rojas Villegas. 2000. Ripening and quality changes in mango fruit as affected by coating with an edible film. *Journal of Food Quality* 23:479-486.

- Chon-Ton. 1987. Biochemical and physiological changes during the harvest period. In: postharvest physiology of vegetables. J. Weichman ( Ed.). Mdi Dekker. New York. 9-21 pp.
- Díaz-Pérez J. C. 1998. Transpiration rates in eggplant fruit as affected by fruit and calyx size. *Postharvest Biology and Technology* 13:45-49
- Dozier W. A. Jr., R Rodriguez-Kabana and A. W. Caylor. 1991. Ethephon hastens maturity of passion fruit grown as an annual in a temperate zone. *HortScience*. 26(2):146-147.
- Duarte U. M. 1988. Factores de precosecha que afectan la fisiología y manejo de poscosecha de frutas y hortalizas. En: *Memorias simposium nacional fisiología poscosecha de productos hortícolas*. México. Editorial Noriega Limusa. 31-35 p.
- EMEX, A. C., 1998. Norma de calidad para mango fresco de exportación. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Jalisco Mex.. 5 p.
- Fan X., S. M. Blankenship and J. P. Matthesis. 1999. 1-methylcyclopropene inhibits apple ripening. *Journal American Horticultural Science*. 124(6):690-695.
- Fan X., L. Argenta and J. P. Mattheis. 2000. Inhibition of ethylene action y 1-methylcyclopropene prolongs storage life of apricots. *Postharvest Biology and Technology* 20:135-142.
- Fan X and J. P Mattheis. 2000a Yellowing of broccoli in storage is reduced by 1-methylcyclopropene. *HortScience*. 35(5):885-887.
- Fan X and J. P Mattheis. 2000b. Reduction of ethylene- induced physiological disorder of carrots and iceberg lettuce by 1methylcyclopropene *HortScience*. 35(7):1321-1314.
- Fennema, O. R. 1985. *Introducción a la ciencia de los alimentos*. Ed. Reverté S. A. Barcelona España. 787-880 pp.
- Feng X and P. E. Robert. 1990. Storage temperature and ethylene influence on ripening of papaya fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(6):949-953.
- Feng X., A. Apelbaum, E. C. Sisler and R. Goren. 2000. Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*. 20:143-150.
- Francis F.J. 1980 *Color Quality evaluación of Horticultural Crops*. *HortScience* Vol.15(1) 1980.
- Galan, Saucó V. 1990. *Los frutales tropicales en los subtropicos*. Ediciones Mundi-Prensa. Mex. 59-93 pp.

- Galan, Saucó V. 1999. El cultivo del mango. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 33-36pp.
- García E. R., M. D. Muy Rangel, F. A. Carrillo y J. Siller Cepeda. 2001. 1-metilciclopropeno (1-MCP) regula la velocidad de maduración y la vida de anaquel de frutos de mango. Boletín Interno CIAD 30 pp.
- Gil A. M., I F. Duarte, I. Delgadillo, I. J. Colquhoun, F. Casuscelli, E. Humpfer, and M. Spraul. 2000. Study of the compositional changes of mango during ripening by use of nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal Agric. Food Chemistry*. 48:1524-1536.
- Golding J.B., D. Shearer, W.B. McGlasson and S.G. Wyllie. 1999. Relationships between respiration, ethylene, and aroma production in ripening banana. *Journal Agric. Food Chemistry*, 47:1646-1651.
- Gómez Lim M. A. 1992. Mango ripening: physiology and molecular biology. Fourth International Mango Symposium. International Society for Horticultural Science. 485-489 pp.
- Gómez Lim M. A., 1997. Postharvest physiology. In: The mango botany, production and uses. Ed. Litz R.E. CAB International. New York. 425-445. pp.
- González A. R. and P. E. Brecht. 1978. Firmness of harvested ripe and normal tomatoes as affected by ethylene. *HortScience*. 13(1):42.
- Harris D. R., J. A. Seberry, R. B. Wills and L.J. Spohr. 2000. Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methylcyclopropene to delay the ripening of bananas. *Postharvest Biology and Technology* 20:303-308.
- Herianus J. D. L., Singh Z., Soon Chye T. (2003). Aroma volatiles production during fruit ripening of "Kensington Pride" mango. *Postharvest Biology and Technology*. 27:323-336.
- Huber, D. J., 1983. The role of cell wall hydrolases in fruit softening. *Horticultural Reviews*. 5:169-219.
- Hulme, A. C. 1971. The mango. In: the biochemistry of fruits and their products. Ed. Hulme, A. C., Academic Press, London and New York. 233-249.
- Institute of Food Technology (IFT). 1990. Quality of fruit in vegetables. Scientific status summary. June 1990. 99-105
- Ireta Ojeda A y Guzmán Estrada. Guía técnica para la producción de mango en Sinaloa. Folleto técnico num. 22. INIFAP. 152.

- Jeong J., J. D. Huber and S. Sargent. 1999. The potential benefits of 1-methylcyclopropene (1-MCP) for regulating the ripening and extending the storage life of avocados. *HortScience*. 34:538.
- Jhon J., C. Subbarayan C. and H.R. Cama. 1970. Carotenoids in 3 stages of ripening of Mango. *Journal of Food Science*. 35:262-265.
- Kader Adel A., 1985. Ethylene-induced senescence and physiological disorders in harvested horticultural crops. *HortScience*. 20(1):54-46.
- Kader Adel A., 1987. Respiration and gas exchange of vegetables. In: *Postharvest physiology of vegetables*. J. Weichman. (Ed.). Mdi Dekker. New York. 25-43 pp.
- Kader Adel A., 2002. *Postharvest biology and technology: and Overview in: Postharvest technology of horticultural crops third edition* University of California. 39-48 pp.
- Kader A and Barret D. 1996 *Classification, composition of fruits, and postharvest maintenance of quality in: Biology, principles and applications*. 1-13 pp.
- Kubo Y., A. Inaba and R. Nakamura. 1990. Respiration and C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> production in various harvested crops held in CO<sub>2</sub>- enriched atmospheres. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115 (6):975-978.
- Krishnamurthy S. and H. Subramanyam. 1970. Respiratory climacteric and chemical changes in the mango fruit (*Mangifera indica* L.). *Amer. Soc. Hort. Sci.* 95(3):333-337.
- Malevskiy Y., B. L. Gómez, M. Peleg and M. Silberg. 1977. External color as maturity index of mango. *Journal of Food Science*. 42(5):1316-1318.
- Malundo T.M.M., R. L. Shewfelt, G.O. Ware and E. A. Baldwin. 2001. Sugars and acids influence flavor properties of mango (*Mangifera indica* L.). *Journal American Soc. Hort. Science*. 126(1):115-121.
- Marín M. A., Cano, M. Pilar. 1992. Patterns of peroxidase in ripening mango (*Mangifera indica* L.) Fruits. *Journal of Food Science*. 57(3):690-692, 734.
- Mata B. I y R.I V. Mosqueda. 1988. *La producción del mango en México*. Ed. Limusa. UTEHA. 159 pp.
- McGuire Raymond G. 1992. Reporting of objective color measurement. *HortScience*. 27(12):1254-1255.
- Medlicott A.P., M. Bhogal and B. Reynolds. 1986. Changes in peel pigmentation during of mango fruit (*Mangifera indica* var. Tommy Atkins). *Journal Annals of Applied Biology*. 109, 651-656

- Medlicott A. P. y J. M. Sigrist. 1990. Ripening of mangos following low-temperature storage *Journal American Society for Horticultural Science*. 115(3):430-434.
- Medlicot A. P., M. N'Diaye and J. M. Sigrist. 1990. Harvest maturity and concentration exposure time to acetylene Influence Initiation of ripening in mango; *Journal American Society Horticultural Science*. 15(3):426-430.
- Mercadante A. Z. y A. D. Rodriguez. 1998. Effects of ripening, cultivar differences, and processing on the carotenoid composition of mango. *Journal Agric. Food Chemistry*. 46:128-130.
- McGlasson, W. B. 1985. Ethylene and fruit ripening. *HortScience*. 20(1):51-53.
- Miller W. R. And McDonald R.E. 1991. Quality changes during storages and ripening of "Tommy Atkins" mangos treated with heated forced air. *HortScience* 26(4):395-397.
- MINOLTA. 1993. Caracterización precisa de color (control del color desde la percepción sensorial a la instrumentación) E-537205. Alemania. Pág. 1-21.
- Mir N. A., E. Curell, N. Khan, M. Whitaker, R. M. Beaudry. 2001. Harvest maturity, storage temperature and 1-MCP application frequency alter firmness retention and chlorophyll fluorescence of "Red chief delicious" apples. *Journal American Horticultural Science*. 126(5):618-624.
- Mir N. A., N. Khan. and R. M. Beaudry. 1999. 1-methylcyclopropene extends shelf life of tomato at all stages of maturity. *HortScience*. 34:538.
- Mitcham E.J. R. E. McDonald. 1992. Cell wall modification during ripening of "Keitt" and "Tommy Atkins" Mango Fruit. *Journal American for Soc. Hort. Sci*. 117(6):919-924.
- Mitcham B. and A. Kader. 1996. Method for determining quality of fresh commodities perishables handing newsletter issue. Davis CA. 85:6.
- Mizrach A. U. Flitsanov, Z. Schmilovitch and Y. Fuchs. 1999. Determination of mango physiological indices by mechanical wave analysis. *Postharvest Biology and Technology*. 16:179-186.
- Mosqueda V. R. De los Santos de la Rosa F., L. E. Becerra, M. Cabrera, H. Ortega, P. Del Ángel, L. Ana 1996. Manual para cultivar mango en la planicie costera del Golfo de México. Folleto técnico División agrícola. SAGAR-INIFAP-CICRO-C.E. Cotaxtla, Veracruz, México. 15:130.
- Muramatsu, N., Takahara, T., Kojima, K., Ogata, T., 1996. Relationship between texture and cell wall polysaccharides of fruit flesh in various species of *Citrus*. *HortScience*, 31(1):114-116.

- Muy R. D. (2002). Condiciones de Almacenamiento y Estado Hídrico en Frutas y Hortalizas, Predicen Calidad y Vida de Anaquel. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo. Culiacán Sinaloa Mex. P.90-117.
- Nagy S., Shaw,P.E. 1980. Tropical and subtropical fruits. Avi. Publ. Co. Wuestport Sonn. EUA. 184-257.
- Lakshminarayana S. 1976. Relación del momento de la cosecha sobre la respiración, los constituyentes químicos y la duración del almacenamiento de mangos. Serie: Investigaciones Fisiológicas 10. Comisión Nacional de Fruticultura. SAG/México. 3-16 pp.
- Lazan H. Z. M., J. S. Ali. Soh and Z. Talkah. 1993. The biochemical basis of differential ripening in mango. In: Fourth International mango Symposium. International Society for Horticultural Science. 501-509.
- Lederman I. E., G. Zauberman, A. Weksler, I. Rot and Y. Fuchs. 1997. Ethylene-forming capacity during cold storage and chilling injury development in "Keitt" mango fruit Postharvest Biology and Technology 10:107-112.
- Lieberman Morris. 1979. Biosynthesis and action of ethylene. Ann. Rev. Plant Physiol. 30:533-591.
- Little, A. 1975. Off on a tangent. A research note. Journal of Food Science. 40:410-411.
- Ochse J.J., Jr. M. Dijkman, M.L. Soule, C. Wehlburg. 1976. Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales. Ed. Limusa. I: 94-610.
- Pantastico, Er. B., 1979. Fisiología de la posrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. 59-132.
- Palacios A. J., R. J. García. 1997. Oportunidades de desarrollo del mango en México. FIRA, boletín informativo 31(301):100.
- Popenoe J., T. T. Hatton and P. L. Harding. 1957. Determination of maturity of hard green Haden and Zill mangos. American Society for Horticultural Science. 71: 327-329.
- Reid Michael S. 1992. Post harvest technology of horticultural crops ca. Editor A. Kader University of California. 21-28 pp.
- Roe B. and J. H. Bruemmer. 1981. Changes in pectin substances and enzymes during ripening and storage of "Keitt" mangos. Journal of Food Science. 189(46).

- Ruiz M., Guadarrama A., 1992. Comportamiento poscosecha del mango (*Mangifera indica*) tipo bocado durante maduración controlada. Facultad de Agronomía Maracaray 18:79-93.
- Samson J.A., 1991. El Mango en: Fruticultura tropical. Ed. Limusa. Segunda ed. Cap. 8 México, D.F. 259-280 pp.
- SAGARPA, Delegación Estatal en Sinaloa. 2001. Cadena Agroalimentaria. Mango. Avances en el estado de Sinaloa. 1-19.
- Seymour G.B., N'Diaye M., Wainwright H., Tucker G.A., 1990. Effects of cultivars and harvest maturity on ripening of mangoes during storage. Journal American Soc. Horticultural Science. 65(4) 479-483.
- Serek M., E.C. Sisler, M.S. Reid. 1994. Gaseous ethylene binding inhibitor prevents ethylene effects in potted flowering plants. Journal American Soc. Horticultural Science 119(6):1230-1233.
- Sergent E., B. Shaffer, S.P. Lara. 1992. Effect of ethephon on mango (*Mangifera indica*) fruit quality. Fourth International Mango Symposium. International Society for Horticultural Science.
- Shirazi Ahmad and Cameron Arthur C. 1993. Measuring Transpiration Rates of Tomato and Other Detached Fruit. HortScience 28 (10): 1035- 1038.
- Sisler Cepeda J., M. D. Muiy, E. Araiza, M. Báez, J. Rodríguez, R. Báez, A. Ireta. 1994. Evaluación de la calidad de clones de mango introducidos a Sinaloa. Proceeding of the Interamerican Society for tropical horticulture 38:37-42.
- Sisler E. C., M. Serek. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. Physiologic Plantarum. 100:577-582.
- Thomas A. C. and Beyers M. 1979. Irradiation of subtropical fruits. 3. A comparison of the chemical changes occurring during normal ripening of mangoes and papayas with changes produced by irradiation. Journal Agric. Food Chemistry. 27(1):157-163.
- Thomas Paul. 1975. Effect of postharvest temperature on quality, carotenoids and ascorbic acid content of Alphonso mangoes on ripening. Journal of Food Science. 40:704-706.
- Thomas Paul and M.S. Oke. 1983. Improvement in quality and storage of 'Alphonso' mangoes by cold adaptation. Scientia Horticulture. 19:257-262.
- Thompson A. K. 1971. The storage of mango fruits. Trop. Agric. (Trinidad) 48(1):63-69.

- Vásquez-Salinas C. And Lakshminarayana S. (1985). Compositional changes in mango fruit during ripening at different storage temperatures. *Journal of Food Science*. Volume 50:1646.
- Vijas E. B. and Kader A. 2001. Effects of 1-MCP on fresh-cut fruits. *Perishables Handling Quarterly*. Department of Pomology, UC Davis. 108(2001):25-27.
- Watkins C. B., J. M. Haki, C. Frenkel. 1988. Activities of polygalacturonase,  $\alpha$ -D-mannosidase, and  $\alpha$ -D- and  $\beta$ -D galactosidases in ripening tomato. *HortScience*. 23(1):192-194.
- Watkins Christopher B., Nok Jacqueline F., Whitaker Bruce D. 2000. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) under air and controlled atmosphere storage conditions. *Postharvest Biology and Technology* 19(2000):17-32.
- Weaver Robert J. 1976. *Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura*. Ed. Trillas. 113-143.
- Wills R., Mcglasson B., Graham D., Joyce D. 1998. *Fisiología y bioquímica en: Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales*. 29-51 pp.
- Yahia E. M. 1997. *Manejo post-cosecha del mango*. Gobierno del Estado de Colima. Universidad de Colima, México. 1-25 pp.
- Yehoshua B. S. 1987. Transpiration, water stress and gas exchange. In *Postharvest physiology of vegetables*. Edited by Weitschman J. II Series: Food Science Technology (Marcel Decker, Inc.) 275 pp.
- Zauberman G. Y. Fuchs. Ll. Rot, A. Wexler. 1988. Chilling injury, peroxidase and cellulase activities in the peel of mango fruit at low temperature. *HortScience* 23(4):732-733.

## APÉNDICE

Cuadro 6.1 ANOVA para variable pH.

Fuente	G. L.	S. C.	M.C.	F	P
Tratamiento	2	0.60654	0.30327	6.85	0.004
Tiempo	4	12.05851	3.01463	68.10	0.000
Interacción	8	1.02214	0.12777	2.89	0.016
Error	30	1.32799	0.04427		
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>15.01519</b>			

Cuadro 7.1. ANOVA para variable sólidos solubles totales.

Fuente	G. L.	S.C.	M.C.	F	P
Tratamiento	2	45.790	22.895	5.58	0.009
Tiempo	4	388.310	97.078	23.66	0.000
Interacción	8	36.386	4.548	1.11	0.385
Error	30	123.088	.103		
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>593.575</b>			

Cuadro 8.1. ANOVA para variable acidez titulable.

Fuente	G. L.	S.C.	M.C.	F	P
Tratamiento	2	0.24132	0.12066	2.53	0.096
Tiempo	4	2.4167	0.60409	12.68	0.000
Interacción	8	0.48864	0.06108	1.28	0.290
Error	30	1.42949	0.04765		
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>4.57582</b>			

Cuadro 9.1 ANOVA para variable relación °Brix/Acidez (RBA).

Fuente	G. L.	S.C.	M.C.	F	P
Tratamiento	2	6072	3036	21.4	0.000
Tiempo	4	28352	7088	49.9	0.000
Interacción	8	532	66	0.4	0.868
Error	28	3971	582		
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>39755</b>			

Cuadro 10.1. ANOVA de la variable pérdida de peso.

FUENTE	G.L.	S.C.	C.M.	F	P
Tratamientos	2	7.096512	3.548256	20.6067	0.000
Tiempo	2	30.580734	15.290367	88.7999	0.000
Interacción	4	2.880737	0.720184	4.1825	0.005
Error	72	12.397614	0.172189		
<b>Total</b>	<b>89</b>	<b>54.798798</b>			

Cuadro 11.1. ANOVA para la variable firmeza.

Fuente	G.L.	S.C.	M.C.	F	P
Tratamientos	2	28051.0	14025.5	16.62	0.000
Tiempo	4	58821.2	14705.3	17.43	0.000
Interacción	8	17885.4	2235.7	2.65	0.025
Error	30	25316.9	843.9		
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>130074.4</b>			

Cuadro 12. ANOVA de la variable luminosidad de la cáscara.

Fuente	G.L.	S.C.	M.C.	F	P
Tratamientos	2	20.23	10.11	0.68	0.515
Tiempo	4	131.28	32.82	2.20	0.092
Interacción	8	192.81	24.10	1.62	0.161
Error	30	446.77	14.89		
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>791.08</b>			

Cuadro 13. ANOVA para la variable cromaticidad de cáscara.

Fuente	G. L.	S. C.	M. C.	F	P
Tratamientos	2	1.09	0.54	0.02	0.978
Tiempo	4	1678.42	419.60	17.01	0.000
Interacción	8	130.51	16.31	0.66	0.721
Error	30	740.03	24.67		
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>2550.04</b>			

Cuadro 14.1. ANOVA de la variable ángulo Hue para color de cáscara

Fuente	G. L.	S.C.	M.C.	F	P
Tratamiento	2	419.33	209.67	6.92	0.003
Tiempo	4	2900.22	725.06	23.93	0.000
Interacción	8	113.73	14.22	0.47	0.868
Error	30	909.12	30.30		
<b>Total</b>	<b>44</b>				

Cuadro 15.1. ANOVA de la variable luminosidad de color de la pulpa.

Fuente	G. L.	S. C	M.C.	F	P
Tratamientos	2	198.80	99.40	7.02	0.003
Tiempo	4	2177.02	544.26	38.44	0.000
Intefacción	8	210.76	26.35	1.86	0.104
Error	30	424.73	14.16		
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>3011.32</b>			

Cuadro 16.1. ANOVA de la variable cromaticidad de color de pulpa.

Fuente	G.L.	S. C.	M.C.	F	P
Tratamientos	2	312.57	156.29	8.80	0.001
Tiempo	4	505.09	126.27	7.11	0.000
Intefacción	8	320.69	40.09	2.26	0.051
Error	30	532.55	17.75		
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>1670.89</b>			

Cuadro 17.1. ANOVA para la variable ángulo Hue de color de pulpa.

Fuente	G. L.	S. C.	M.C.	F	P
Tratamientos	2	161.312500	80.656250	11.5260	0.000
Tiempo	4	370.375000	92.593750	13.2319	0.000
Intefacción	8	124.750000	15.593750	2.2284	0.056
Error	30	195.937500	6.997768		
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>860.968750</b>			

Cuadro 18.1. ANOVA para variable respiración (bióxido de carbono).

<b>Fuente</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>M.C.</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Tratamientos	2	1824.351563	912.175781	15.0632	0.000
Tiempo	12	547.695313	45.641277	0.7537	0.693
Interacción	24	1066.640625	44.443359	0.7339	0.787
Error	39	2361.703125	60.556492		
<b>Total</b>	<b>77</b>	<b>5800.390625</b>			