

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN
Y DESARROLLO, A. C.**



**1-METILCICLOPROPENO PARA RETRASAR LA
MADURACIÓN DE PAPAYA ‘MARADOL’ CON DESTINO A
EXPORTACIÓN**

Por:

FLOR MARÍA RUELAS GONZÁLEZ

TESIS APROBADA POR LA

**UNIDAD CULIACÁN DEL CIAD EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
PARA PRODUCTOS AGRÍCOLAS DE ZONAS TROPICALES Y
SUBTROPICALES**

**Como requisito para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS**

APROBACIÓN


Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Ing. Flor María Ruelas González, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias



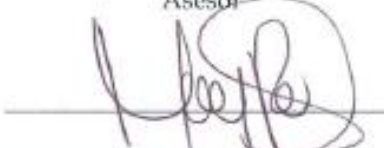
M. C. Manuel Alonzo Báez Sañudo
Director de Tesis

Sañudo Barajas J. Adriana

Dra. Josefa Adriana Sañudo Barajas
Asesor



Dr. José Benigno Valdez Torres
Asesor



Dra. María Dolores May Rangel
Asesor

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en esta tesis es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se de crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del Director General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director de tesis.

Dr. Pablo Wong González

Director General

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con todo mi amor, cariño y respeto

a mi madre, padre y hermano

Flor del Carmen González Cabanillas

Hector Manuel Ruelas Leal

Hector Jovanny Ruelas González.

AGRADECIMIENTOS

Al concejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT por el apoyo económico otorgado durante mis estudios de posgrado.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. Unidad Culiacán por abrirme sus puertas y permitirme realizar mis estudios de maestría.

A mi director de tesis, al M. C. Manuel Alonzo Báez Sañudo por aceptarme como su alumna en su laboratorio y por su asesoría en la realización de este proyecto, pero sobre todo por su paciencia, consejos, por sus palabras de motivación, y su amistad.

Al comité de tesis integrado por el Dr. Benigno Valdez; muchas gracias Dr. por su paciencia y dedicación a las observaciones, recomendaciones, y sobre todo por sus sabios consejos. A la Dra. Adriana Sañudo Barajas por la dedicación en las observaciones hacia la investigación. A la Dra. María Dolores Muy por sus comentarios y observaciones y gracias por uno que otro regaño también.

A la técnica Rosalba Contreras, por su apoyo incondicional en la realización del proyecto, por sus regaños y consejos, por las aventuras vividas, y gracias por ser un refugio de amor y amistad.

A todos los técnicos de CIAD que en su momento me tuvieron en sus laboratorios realizando prácticas, gracias Rosabel Vélez por estar presente, por sus comentarios y sugerencias y estar atenta en los experimentos realizados, y a todo el laboratorio de Bioquímica Vegetal que en mi estancia me sacaron una sonrisa.

Gracias a cada uno de mis profesores en CIAD por los conocimientos adquiridos.

Gracias a mis compañeros de generación, por haber sido parte de esta gran aventura, gracias por su amistad y cariño: Jaime, Wendy, Grecia, María, Suhail, Gabriela y sobre todo a Nancy por su apoyo en el laboratorio.

Gracias a toda mi familia por haber preguntado siempre como estoy y por que se que siempre puedo contar con ellos. A mis queridos primos Fatima y Diego, por su compañerismo y cariño en estos dos años.

Y por último pero no menos importante, gracias a Guillermo Arturo Adams por su compañía, apoyo incondicional y sobre todo paciencia. Gracias por ser mi refugio ante todo, y por brindarme siempre sonrisas, abrazos y besos cuando el tiempo se ponía oscuro. Gracias por tanto amor...

ÍNDICE

ÍNDICE DE FOTOS.....	x
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
SUMMARY.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	13
REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
Generalidades de la Papaya.....	15
Origen y Distribución Geográfica.....	15
Aspectos botánicos y taxonómicos.....	16
Variedades.....	17
Composición nutricional y usos.....	18
Importancia económica del fruto de papaya.....	20
Producción Mundial.....	20
Producción Nacional.....	20
Exportación.....	20
Índices de cosecha.....	21
Proceso de maduración.....	23
Respiración.....	24
Producción de Etileno.....	25
Firmeza.....	27
Color.....	27
Carbohidratos.....	28
Ácidos Orgánicos.....	29
Sólidos Solubles Totales.....	31
Etileno en poscosecha.....	31
Pérdidas Poscosecha.....	33

Tecnologías Poscosecha Para Aumentar la Vida de Anaquel	34
Almacenamiento en Frío	35
Atmósferas Modificadas y/o Controladas	35
Antagonistas del Etileno	36
1-Metilciclopropeno (1-MCP).....	37
Estudios previos realizados con 1-MCP	40
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	42
HIPÓTESIS.....	43
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	44
OBJETIVOS	45
Objetivo general	45
Objetivos específicos:.....	45
JUSTIFICACIÓN.....	46
MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
Obtención de las muestras.....	47
Etapa 1	47
Pre-tratamiento con etileno.....	47
Tratamientos 1-MCP.....	48
Almacenamiento refrigerado y simulación mercadeo.....	48
Etapa 2	48
Análisis físicos	49
Pérdida de peso	49
Colores de cáscara y pulpa	49
Firmeza	51
Análisis químicos.....	51
Acidez titulable y pH.....	51
Sólidos solubles totales.....	52
Análisis fisiológicos	52
Respiración y producción de etileno.....	52

Azúcares y ácidos orgánicos	53
Extracción.....	53
Diseño experimental y Análisis estadístico.....	55
Etapa 1:	55
Etapa 2:	55
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
Resultados etapa 1	56
Resultados etapa 2	57
Calidad física	57
Firmeza	57
Pérdida de peso.....	60
Color externo	62
Color interno.....	65
Calidad química	67
Sólidos solubles totales.....	67
Acidez titulable y pH.....	68
Azúcares totales.....	71
Azúcares individuales	72
Ácidos orgánicos	75
Calidad fisiológica	78
Producción de CO ₂ y evolución de etileno	78
CONCLUSIONES	81
REFERENCIAS.....	83
ANEXOS.....	94

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Clasificación de la papaya de acuerdo al grado de madurez y firmeza.....	22
Foto 2. Clasificación de las etapas de madurez de papaya ‘Maradol’ con base al aspecto visual de color de la piel..	23

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química del fruto de papaya fresca.....	19
Cuadro 2. Tasa de respiración del fruto.....	25
Cuadro 3. Tasa de producción de etileno.	26
Cuadro 4. Descripción del color externo de papaya “Maradol”.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Forma molecular del 1-MCP.....	38
Figura 2. Diagrama del sistema de notación color.	50
Figura 3. Firmeza en papaya ‘Maradol’ tratada con etileno y 1-MCP.	56
Figura 4. Efectos principales de tratamientos (A) y días de simulación mercadeo a 20°C (B) de papaya expuesta a etileno y 1-MCP.....	57
Figura 5. Firmeza de papaya tratada con etileno y 1-MCP.....	58
Figura 6. Pérdida de peso (%) de frutos de papaya tratados con etileno y 1-MCP.....	61
Figura 7. Color de cáscara.....	63
Figura 8. Sólidos solubles totales (°Brix) en papaya ‘Maradol’ tratada con etileno y 1-MCP.	68
Figura 9. pH (A) y Acidez titulable (B) en papaya ‘Maradol’ tratada con etileno y 1-MCP.....	70
Figura 10. Azúcares totales (%) en papaya ‘Maradol’ tratada con etileno y 1-MCP.....	71
Figura 11. % de Glucosa (A), % de Fructosa (B) y % de Sacarosa (C) en papaya ‘Maradol’ tratada con etileno y 1-MCP.....	74
Figura 12. Contenido de ácidos málico (A) y ácido cítrico (B) en papaya ‘Maradol’ tratada con etileno y 1-MCP.....	77
Figura 13. Respiración de frutos de papaya ‘Maradol’ tratada con etileno y 1-MCP.	79

RESUMEN

Con el objetivo de extender la vida comercial de papaya 'Maradol' se estudiaron frutos en estado de madurez $\frac{1}{4}$ (20-25% de coloración amarilla) los cuales se gasearon con 100 ppm de etileno y en una primera etapa se dividieron para ser tratados con 50, 100, 200 y 300 ppb de 1-MCP. La dosis de 50 ppb de 1-MCP tuvo la mejor respuesta en firmeza, y se probó en una segunda etapa. Se agruparon tres lotes para la aplicación de los tratamientos: testigo, etileno (100 ppm de etileno) y Etileno+1-MCP (100 ppm de etileno y 50 ppb de 1-MCP). Posteriormente los frutos se almacenaron 10 días a $9\pm 1^{\circ}\text{C}$ y 90% HR, para ser transferidos a condiciones de simuladas de mercadeo ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$ y 70% HR) durante 5 días. Se evaluaron los cambios en firmeza, color externo, pérdida de peso, sólidos solubles totales, acidez titulable, pH, azúcares individuales, ácidos orgánicos, producción de CO_2 y producción de etileno. Los datos se analizaron de acuerdo a un diseño de dos factores totalmente al azar mediante un ANOVA y se aplicó la prueba de TUKEY a un nivel confianza del 5% (MINITAB 17). Como resultados se obtuvo que el tratamiento Etileno+1-MCP logró retener la firmeza hasta por 5 días en simulación de mercadeo, mostrando a partir del quinto día valores similares al tratamiento Etileno (10 N). En términos de firmeza los frutos presentaron una calidad comercial por 2 días (>20 N) y lograron mantener la calidad de consumo (≤ 20 N) por 3 días. Se obtuvieron efectos significativos de los tratamientos sobre las variables de pérdida de peso, color, sólidos solubles totales, sin afectarse el contenido de acidez titulable, pH, azúcares individuales y ácidos orgánicos. El tratamiento combinado de la papaya 'Maradol' con 100 ppm de etileno y 50 ppb de 1-MCP demostró potencial para extender la vida de anaquel de la fruta conservando las características de calidad de consumo (color, firmeza y sabor) deseadas. Palabras claves: *Papaya, 1-MCP, Firmeza*

SUMMARY

In order to extend the shelf life of papaya 'Maradol', fruits at maturity $\frac{1}{4}$ (20-25% of skin colored yellow) pretreated with 100 $\mu\text{l/L}$ of ethylene and then treated with 50, 100, 200 and 300 nl/L of 1-MCP were studied. Dose of 50 nl/L of 1-MCP showed better response to retain fruit firmness therefore a second experiment was ran as follows: three lots of fruits were formed for treatments control (untreated), Ethylene (100 $\mu\text{l/L}$) and Ethylene + 1-MCP (100 $\mu\text{l/L}$ + 50 nl/L) respectively. At the beginning, fruits were stored for 10 days at 9 ± 1 ° C and 90% RH simulating refrigerated transport to exportation market. After that period, all fruit were exposed to simulated marketing conditions (20 ± 2 ° C and 70% RH) for 5 days. Pulp firmness, external color, weight loss, total soluble solids, titratable acidity, pH, sugars, organic acids, CO_2 production and ethylene evolution were evaluated. Data were analyzed using a two factors design totally random by ANOVA and Tukey test was applied at confidence level of 5% (Minitab 17). Fruit treated with Ethylene + 1-MCP were able to ripe fully retaining pulp firmness for up to 5 days under marketing simulation, showing after that firmness values similar to fruit treated only with Ethylene (10 N). According to fruit firmness, papayas treated with Ethylene+1-MCP showed a commercial quality up to 2 days (> 20 N) after cold storage followed by 3 days maintaining good quality for consumption (≤ 20 N). Significant effects among treatments by weight loss, color development, total soluble solids, pH, sugars and organic acids were observed but not for titratable acidity. Combined treatment of 100 $\mu\text{l/L}$ ethylene and 50 nl/L 1-MCP on papaya 'Maradol' showed good potential to extend fruit shelf life preserving quality characteristics desired by consumer as color, firmness and taste. Keys words: *Papaya, 1-MCP, Firmness*

INTRODUCCIÓN

La papaya es un fruto de gran importancia nutrimental y comercial, sin embargo, su comercialización se ve limitada por su corta vida de anaquel atribuida a que es un fruto climatérico, con altas tasas de respiración y producción de etileno.

Algunas alternativas que se han estudiado ampliamente para alargar la vida de anaquel de papaya son el almacenamiento en frío, el uso de bolsas plásticas y ceras, y el uso de compuestos químicos como los inhibidores de la síntesis de etileno y los inhibidores de la recepción del etileno. Todas estas alternativas presentan diversas desventajas: la refrigeración se ve limitada por la alta susceptibilidad del fruto al daño por frío. El uso de bolsas puede ser no redituable por su alto costo. Las ceras comestibles tienen a bloquear excesivamente el intercambio de gases entre el fruto y el ambiente, dificultando la respiración del mismo pudiendo ocasionar su muerte. Los inhibidores de la síntesis de etileno son productos químicos de uso limitado ya que su aplicación no regulada en dosis puede provocar daños en la salud del consumidor.

Una alternativa prometedora es el uso de los inhibidores de la recepción de etileno, los cuales bloquean el sitio de unión del etileno con sus receptores a nivel celular, ocasionando la disminución de los procesos bioquímicos y fisiológicos del fruto lo que permite alargar la vida de anaquel. Un inhibidor de particular interés es el 1-Metilciclopropeno (1-MCP) el cual no presenta problemas de toxicidad, se utiliza en bajas dosis y comercialmente se aplica en frutos como, manzanas, nectarinas, duraznos, tomates, aguacates y papayas, entre otros. El uso de 1-MCP en papaya ha presentado problemas en la firmeza y maduración debido a que el fruto tiene una baja producción de receptores de etileno, lo cual provoca que el 1-MCP sature rápidamente los sitios de unión (receptores), provocando que el fruto no madure adecuadamente.

El propósito de este estudio fue determinar la dosis mínima de 1-MCP que en combinación con etileno permita alargar la vida de anaquel del fruto de papaya desarrollando completamente la maduración y conservando su calidad comercial.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades de la Papaya

La papaya (*Carica papaya*, L.) es la fruta más importante en la familia *Caricacea*. En algunas partes del mundo, especialmente en Australia y algunas islas del oeste de la India, es conocida como papaw o pawpaw. La gente de habla hispana la nombra melón zapote, lechosa, papayo, papayo o papayero, fruta bomba, mamón o mamona, dependiendo del país. En Brasil, el nombre usual es mamao. Las áreas productoras de este fruto se encuentran localizadas en los países tropicales y subtropicales, siendo los de mayor producción, India, Nigeria, Brasil y México (De la Cruz, 2003).

Origen y Distribución Geográfica

Se cree que la papaya es originaria del sur de México y el vecino Centroamérica. Se cultiva actualmente en América del sur, América central, África Oriental Británica, Sudáfrica, Sri Lanka, India, Islas Canarias, Malasia y Australia. Ahora está presente en todos los países tropicales y subtropicales. La papaya fue descrita por primera vez en 1526 por el cronista español Oviedo, que la encontró en las costas panameñas y colombianas. La fruta se expande rápidamente en los trópicos, muy probablemente debido a las abundantes semillas altamente viables que posee. La historia de la expansión de la papaya se inició aproximadamente en 1500, cuando los conquistadores españoles llevaron semillas a Panamá y República Dominicana. Posteriormente, los navegantes españoles y portugueses llevaron las semillas a las Filipinas, Malasia e India (Ming y Moore, 2014).

Para 1600, la fruta se había producido en las regiones cálidas de Sur y Central América, el sur de México, las Antillas, Bahamas, Bermudas y Florida. En el mismo

siglo, semillas de papaya fueron llevadas de India a Nápoles en Italia. El cultivo alcanzó Hawaii entre 1800 y 1820. Hasta 1900, las semillas de papaya fueron llevadas a la Florida, probablemente a partir de plantaciones de Bahamas. La variedad 'Solo' se ha cultivado en Hawaii desde 1911, probablemente traída de Barbados y Jamaica. Las primeras semillas de la variedad 'Maradol' se introdujeron en México en 1978, a través de CONAFRUT, en Xalapa, Veracruz (CRFG, 1998).

Aspectos botánicos y taxonómicos

La papaya taxonómicamente se clasifica en la división Magnoliopsida, clase Magnoliatae, orden Brassicales, familia *Caricacea*, género *Carica* de la especie papaya (Parle y Gruditta, 2011).

La papaya es una hierba tropical de crecimiento rápido y semi leñosa. El tallo es simple, recto, hueco y contiene importantes cicatrices que han dejado las hojas. Presenta fuerte dominancia apical, rara ramificación a menos que el meristemo apical se retire o se dañe, hojas palmadas lobulares, generalmente grandes, están dispuestas en espiral, agrupados en la corona. En general los cultivares de papaya se diferencian por el número de hojas en venas principales, el número de lóbulos en los márgenes de la hoja, forma de hoja, el tipo de estomas y las estructuras de cera sobre la superficie de la hoja, así como el color del peciolo de la hoja (Bogantes et al., 2010; Rodríguez y Galán, 1995; Texeira et al., 2007).

De manera natural, la papaya tiene tres tipos de flores. De cinco pétalos, los cuales son carnosos, cerosos y escasamente perfumados; cuyo género se clasifica en masculino, femenino y hermafrodita, por lo que se considera que es una planta polígama. En cuanto al tamaño y peso del fruto, éste puede variar entre 10 a 25 cm o más de largo y de 7 a 15 cm o más de diámetro, y oscila entre 40 g y 6 kg, dependiendo de la variedad y su posición en la planta (Propapaya, 2012).

Variedades

Los tipos de papaya más reconocidos son 'Solo' o Hawaiana y la cubana o 'Maradol'. Actualmente existen los híbridos 'Sensation' y 'Tainung' que han tenido buena adaptación en México tanto a la tierra como al clima (Propapaya, 2012).

Maradol. Esta variedad es de origen cubano. Por su tamaño, la planta se clasifica como semi-enana, desarrolla un tronco grueso y denso follaje. Presenta descendencia compuesta por plantas hermafroditas las cuales producen frutas alargadas y plantas femeninas que producen frutas redondas. El color externo de la fruta es amarillo-naranja brillante y en el interior presenta un intenso color rojo-salmón que la hace muy apreciable por el consumidor. Posee una concentración de sólidos totales de 12°Brix, con un peso que oscila entre 1.5 a 2.6 kg (Pérez, 2003). Es susceptible al impacto de los factores externos durante el manejo de cosecha y poscosecha a causa de su frágil y delgada dermis (De la Cruz et al, 2007). Según Díaz (2003) las pérdidas poscosecha oscilan entre 18 y 30% y se presentan también daños causados por el virus de la mancha anular de la papaya y la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*); esta última es la enfermedad poscosecha responsable de las mayores pérdidas de calidad (Pérez, 2003; Robledo, 2003).

Sensation. Las frutas de este híbrido tienen un peso entre 0.4 y 1.2 kg, son de pulpa roja de 4 cm de grosor y una concentración de sólidos solubles totales que supera los 13°Brix. Cuando está madura, el color externo es amarillo dando tonos de chapeo rojo. No posee un olor fuerte, tiene un olor similar a la variedad Hawaiana o 'Solo' (Semillas del Caribe, 2009).

Tainung. Las plantas son vigorosas y pueden medir entre 2.5 a 3 m de altura, desarrollando mucho follaje. Su tallo medido a 0.5 m de altura desarrolla un grosor de 0.20 m, sus hojas, pedúnculos y tallos son de color oscuro. El tamaño de la fruta varía con un peso promedio de 900 g. El color de la pulpa es anaranjado intenso con 12°Brix, no tiene un olor fuerte (OIRSA, 2002).

Composición Nutricional y Usos

La composición porcentual de la papaya típica es: semillas (8.5%), piel (12%) y pulpa (79.5%) (USDA, 2009).

La composición nutricional de la fruta de papaya puede variar ampliamente dependiendo del estado de madurez en el que se encuentre. Por estas razones, se ha informado de un rango de valores para la papaya que se consume en fresco. Fruta de papaya fresca (100 g) aportan 43 kcal de energía, carbohidratos 10.82 g, 1.7 g fibra y menos de 1 g de proteína (Cuadro 1). Además posee del 80 al 90% de agua, así como calcio, magnesio, potasio, sodio, carotenoides (licopeno, β -cryptoxantina y β -caroteno) y algunos otros compuestos de menor concentración (USDA, 2009; Rivera-Pastrana et al., 2010). Un componente importante del fruto de papaya es la enzima conocida como papaína, la cual degrada rápidamente las proteínas, pectinas, ciertos azúcares y grasas. Es usada en la industria de carnes como ablandador, en la industria cervecera como clarificador, en la industria textil para el tratamiento de la lana y de la seda antes de la coloración y en la industria farmacéutica como digestivo (Propapaya, 2010; Rivera-Pastrana et al., 2010). Las personas optan por consumirla papaya en fresco, además de utilizarla en la preparación de conservas, jugos y mermeladas. También, este fruto es usado como materia prima para la elaboración de otros productos alimenticios y en la preparación de remedios medicinales. Tales usos varían de un país a otro (Mittra, 1997).

Cuadro 1. Composición química del fruto de papaya fresca.

Componente	Contenido en 100 g
Proximales	
Agua	88.06 g
Energía	43 kcal
Proteína	0.47 g
Lípidos totales	0.26 g
Carbohidratos	10.82 g
Fibra total	1.7 g
Azúcares totales	7.82 g
Minerales	
Calcio	20 mg
Hierro	0.25 mg
Magnesio	21 mg
Fósforo	10 mg
Potasio	182 mg
Sodio	8 mg
Zinc	0.08 mg
Vitaminas	
Vitamina C	60.9 mg
Tiamina	0.023 mg
Riboflavina	0.027 mg
Niacina	0.357 mg
Vitamina B	0.038 mg

Importancia Económica del Fruto de Papaya

Producción Mundial

A nivel mundial la producción de papaya en el 2013 alcanzó un total de 12, 420, 584 toneladas. Los principales países productores fueron India con 5, 544,000 t, Brasil 1,582, 638 t, Indonesia 871, 275 t, Nigeria 773,000 t y México 764, 514 t (FAOSTAT, 2013).

Producción Nacional

Aun cuando México no es el principal productor de papaya, si representa el principal país exportador a nivel mundial. Las principales plantaciones de papaya están ubicadas al suroriente del país en los estados de Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Tabasco y Yucatán. En estos estados se concentra más del 80% del total de la producción (Propapaya, 2014).

Veracruz se encuentra en el primer lugar con 2,500 hectáreas sembradas aproximadamente. Por su parte Colima posee 1,994 hectáreas sembradas aunque la calidad de su fruta lo mantiene en el primer lugar en exportación de papaya a los Estados Unidos de América. Michoacán destina 1,700 hectáreas con 600 ha en producción actual. Chiapas se mantiene con 900 hectáreas sembradas y Yucatán tiene 500 hectáreas con 300 ha en producción actual. En Jalisco se contabilizan 280 hectáreas sembradas en los municipios de Cihuatlán y Tomatlán. Por su parte el estado de Puebla reduce su superficie a un promedio de 80 hectáreas sembradas, con 40 has en producción actualmente (Propapaya, 2014).

Exportación

México continúa con el primer lugar en la exportación de papaya a los Estados Unidos de América, seguido de Belice y Guatemala. En 2014, México exportó a los

Estados Unidos la cantidad de 6,765 contenedores de 40,000 lbs equivalentes a 121,770 toneladas de papaya (Propapaya, 2014).

Índices de Cosecha

El momento para cosechar es muy importante para que los productores puedan suministrar a los mercados, frutos de alta calidad. Los frutos de papaya cosechados antes de su óptima madurez probablemente madurarán sin desarrollar buen aroma y sabor y mostrarán una mayor susceptibilidad al daño por frío causado por las bajas temperaturas al momento de su transporte lo que conllevará a una vida de anaquel más corta (Kader, 2010).

Los índices de cosecha del fruto se basan en varios parámetros, incluyendo el número de días desde la completa floración, el color de la cascara, el color y firmeza de la pulpa, los contenidos de sólidos solubles y azúcares totales así como la acidez titulable.

El color de la cáscara es un indicador importante en la madurez comercial del fruto de papaya. La cosecha se realiza cuando los frutos muestran manchas amarillo-naranjas en la punta, a fin de que puedan soportar el transporte a los centros de distribución y de consumo. Para mercado de exportación, los frutos pueden ser cosechados desde que presentan cambio de color verde oscuro a verde claro con una ligera tonalidad amarilla-naranja (quiebre de color), hasta que 1/4 de la cáscara del fruto esté de color amarillo-naranja. Para mercado local, los frutos se pueden cosechar entre 1/4 a 1/2 de color amarillo-naranja en la cáscara. Las papayas cosechadas de 1/4 – 1/2 de color, tienen mejor sabor que aquellas cosechadas entre el quiebre de color hasta 1/4 amarillo-naranja, dado que el dulzor no aumenta después de la cosecha (Arpaia y Kader, 1997; Kader, 2010).

La norma mexicana NMX-FF-041-SCFI-2007 contiene un apéndice informativo para la variedad 'Maradol', en el cual se sugiere que la pulpa y la cáscara deben ser de color característico y uniforme. La descripción del color externo del fruto se basa en la designación de rayas de color amarillo o naranja, de acuerdo con seis grados de maduración que incluye a los frutos verdes, frutos en madurez fisiológica y frutos en madurez de consumo (Foto 1).

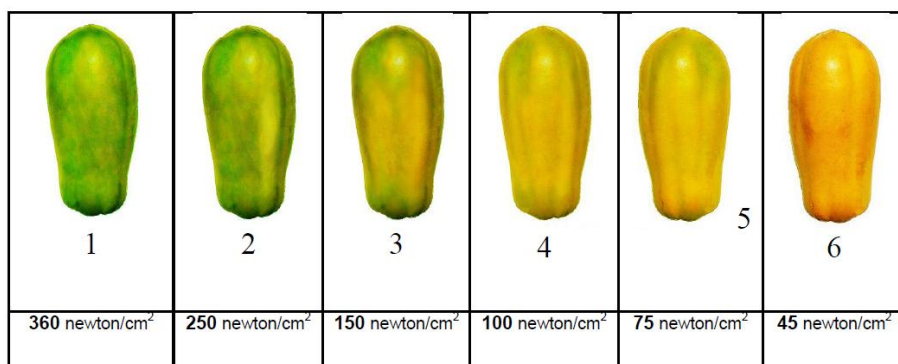


Foto 1. Clasificación de la papaya de acuerdo al grado de madurez y firmeza (NMX-041-SCFI-2007).

Santamaría et al., (2009a) establecen que la madurez de consumo de papaya 'Maradol' se alcanza entre los 13 y 15 días después de la cosecha en condiciones de almacenamiento de 13 ± 1 °C y 75% de humedad relativa. Reportan también que la madurez de consumo se puede diferenciar con los valores del ángulo de matiz o tono de la cáscara entre 70 y 80°Hue, contenido de SST entre 10 y 11.5 °Brix y firmeza en la pulpa de 4.7 a 6.9 N.

Actualmente existen criterios propuestos por Santamaría et al., (2009b) que se han establecido como estándares para determinar el estado de madurez del fruto de papaya en base a valores objetivos de colores de la cáscara y de la pulpa, firmeza y contenido de sólidos solubles totales (SST), clasificando al fruto en seis estados de madurez. El estado G (Green) puede ser usado como estado de madurez fisiológica, los

estados 1 y 2 como índices de cosecha para exportación; y el estado 3 puede ser utilizado como índice de cosecha para mercados cercanos (Foto 2).

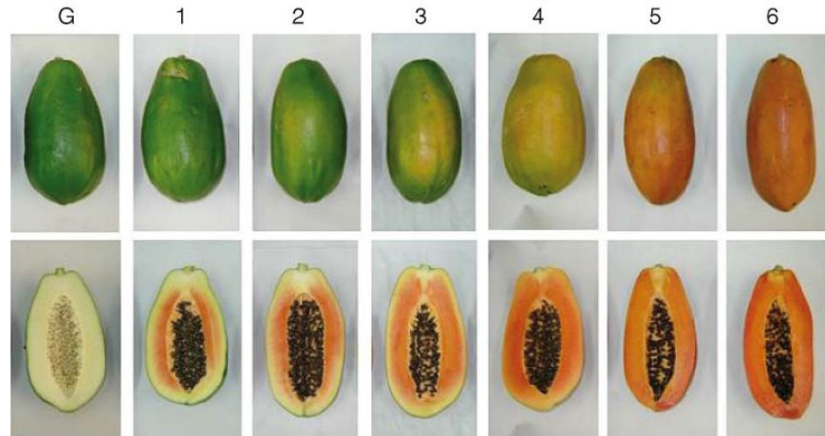


Foto 2. Clasificación de las etapas de madurez de papaya 'Maradol' con base al aspecto visual de color de la piel. G: Piel verde sin rayado amarillo; 1: piel verde brillante con inicios de raya amarillo claro; 2: piel verde con rayado amarillo bien definido; 3: piel con una o más franjas naranja; 4: piel naranja claro y con algunas áreas verde claro; 5: total de la piel con color típico; 6: total de la piel con color naranja intenso (Santamaría, 2009b).

Otros aspectos que son propios de la calidad de la fruta son uniformidad de tamaño y color; ausencia de defectos tales como quemadura de sol, abrasiones en la cáscara, punteado, daño de insectos, coloración manchada y ausencia de pudriciones, entre otros (Arpaia y Kader, 1997).

Proceso de Maduración

La maduración de frutos es un evento en el cual están involucradas diversas rutas metabólicas para convertir un fruto inmaduro, en uno maduro y comestible. Los fenómenos que se inducen durante la maduración, se consideran de naturaleza irreversible y pueden ser de tipo morfológico, fisiológico, bioquímico y genético.

Durante la maduración algunas rutas metabólicas concluyen su ciclo, mientras que otras apenas inician su proceso como efecto de la expresión genética y respuesta a un estímulo. Algunos cambios bioquímicos y fisiológicos más distintivos de la maduración de los frutos son incremento en la tasa respiratoria, degradación de la clorofila, biosíntesis de otros pigmentos, actividad enzimática e incremento transitorio en la producción de etileno (Prasanna et al., 2007; Workneh et al., 2012).

Respiración

La respiración es el proceso por el cual los materiales orgánicos almacenados (carbohidratos, proteínas y grasas) son desdoblados en productos terminales simples como agua y dióxido de carbono con liberación de energía. En este proceso, se utiliza oxígeno (O_2) y se produce dióxido de carbono (CO_2). La pérdida de reservas alimenticias durante la respiración significa el aceleramiento de la senescencia a medida que las reservas que proporcionan la energía para mantener el estatus viviente del producto se agotan. Así mismo, el valor alimenticio (valor energético) para el consumidor se reduce; la calidad y el sabor se pierden, particularmente el dulzor, y hay pérdida de peso seco. La velocidad de deterioro de las frutas, hortalizas y flores cortadas generalmente es proporcional a su velocidad de respiración (Kader, 2007).

Además, a medida que se efectúa la degradación del fruto se obtienen intermediarios útiles (NH_3) para un gran número de otros productos vegetales esenciales, como aminoácidos para proteínas, nucleótidos para ácidos nucleicos, entre otros (Salisbury y Ross, 2000).

Las frutas y las hortalizas se clasifican de acuerdo a los patrones de respiración que expresan ya sean climatéricos y no climatéricos. Los no climatéricos no presentan un cambio intenso en la respiración, mientras los climatéricos presentan un incremento en la respiración cuando maduran. Al inicio de la maduración, los frutos climatéricos

incrementan la respiración la cual se eleva a un máximo llamado pico climatérico, para después declinar lentamente (Wills et al., 1998).

La papaya se encuentra clasificada dentro de los frutos climatéricos en la clase de velocidad baja de respiración (Kader, 2007) (Cuadro 2). El deterioro de las frutas y hortalizas generalmente es proporcional a la respiración. Entre los factores que afectan la respiración de los frutos se encuentra la disponibilidad del sustrato, la disponibilidad de oxígeno, temperatura, tipo y edad del organismo (Salisbury y Ross, 2000).

Cuadro 2. Tasa de respiración del fruto de papaya a diferentes temperaturas.

Temperatura	7°C (45°F)	10°C (50°F)	13°C (55°F)	15°C (59°F)	20°C (68°F)
mL CO₂/Kg.h	3-5	4-6	7-9	10-12	15-35

Fuente: (Kader, 2007).

Producción de Etileno

El etileno es un compuesto hormonal gaseoso sintetizado en la mayoría de los tejidos de las plantas superiores, y se le atribuye el rol principal en los procesos de maduración y senescencia de las frutas climatéricas (Taiz y Zaiger, 2010).

La biosíntesis del etileno inicia con la conversión de metionina a S-adenosil metionina (SAM) por adición de adenina; SAM se convierte luego en ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) y 5'-metiltioadenosina (MTA), reacción catalizada por la ACC sintasa (ACS) (EC 4.4.1.14) (Jiang et al., 2011). Finalmente, el ACC es oxidado por la enzima ACC oxidasa (ACO) (EC 1.14.17) para formar etileno (Bradford, 2008).

El papel del etileno en la vida poscosecha de los productos hortofrutícolas es muy importante, ya que a menudo los afecta negativamente al acelerar la maduración y reducir la vida de anaquel de los productos, sin embargo en muchos casos afecta positivamente ya que induce la maduración rápida y uniforme de los frutos que requieren distribuidos a los mercados minoristas para su consumo (Sherman, 1985).

Los productos hortofrutícolas son clasificados de acuerdo al rango de producción de etileno. La papaya se clasifica dentro del rango de producción alta, con valores que varían de 0.1-15 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{Kg h}$ (Cuadro 3) (Kader, 2007).

Aun cuando se sabe que el etileno induce la maduración de las frutas, en el caso de la papaya el desarrollo de carotenoides en el mesocarpio y la desverdización de la cáscara son eventos independientes del etileno (Manenoi et al., 2007).

Cuadro 3. Tasa de producción de etileno del fruto de papaya a diferentes temperaturas.

Temperatura	7°C (45°F)	10°C (50°F)	13°C (55°F)	15°C (59°F)	20°C (68°F)
$\mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{kg.h}$	0.1-2	0.2-4	0.3-6	0.5-8	1-15

Fuente: (Kader, 2007).

La exposición exógena a 100 ppm de etileno entre 20 a 25°C (68 a 77°F) y 90-95% de humedad relativa por 24-48 horas resulta en una maduración más rápida y uniforme (amarillamiento de la cáscara y ablandamiento de la pulpa, pero escaso a nulo mejoramiento en el sabor) de papayas cosechadas entre el quiebre de color a ¼ de cáscara amarilla (Arpaia y Kader, 1997).

Firmeza

La maduración del fruto está acompañada del cambio en la textura, que es derivada de cambios estructurales de la pared celular. Estos cambios contribuyen al ablandamiento del fruto e incrementan la susceptibilidad a los patógenos y al deterioro del tejido (Ohene y Sefa, 2002). El ablandamiento del fruto de papaya, derivado de la acción de hidrolasas inducidas por etileno, es un factor de calidad difícil de controlar durante poscosecha (Thumdee et al., 2007). Este ablandamiento progresa del endocarpio hacia la epidermis y la falta de uniformidad restringe su comercialización a corto plazo, por lo que generalmente el fruto se expone al gaseo con etileno exógeno para uniformar la maduración, aunque ello acorta su vida útil (Paull et al., 1997). Sañudo et al., (2008) señalan que el ablandamiento de papayas es una respuesta inducida por la percepción de etileno. De acuerdo con la NOM-FF-041-SCF-2007, el fruto debe tener una firmeza en estado de madurez de consumo de 45 N.cm⁻² utilizando un puntal de 1.0 a 0.6 cm. de diámetro.

Color

Los cambios de color de la fruta implican combinaciones de degradación de clorofila y la síntesis y degradación de carotenoides y pigmentos fenólicos como las antocianinas (Lancaster et al., 1997). El color de la cáscara es la característica más utilizada para definir el estado de madurez de la papaya. Las recomendaciones para ser cosechada se basan en el cambio del color verde oscuro a verde claro y con ligeras tonalidades amarillas en el extremo distal (Kader, 2010). La NOM-041 clasifica el fruto de papaya en seis estados dependiendo el grado de coloración amarilla (Cuadro 4).

Cuadro 4. Descripción del color externo de papaya “Maradol”.

Núm.	Designación	Descripción por color de la cáscara
0	Verde	Verde oscura
1	Sazona	Verde claro con una veta amarilla bien definida
2	Una raya	Verde más claro con una veta amarilla bien definida
3	Dos rayas	Verde claro con un 30% de color amarillo en dos vetas
4	Tres rayas	Verde claro con un 50% de color amarillo repartido en tres vetas
5	Cuatro rayas	Naranja en un 70% y 30% verde claro
6	Madura maciza	Naranja del 90% al 100% con ligeros tonos de verde claro y punto de maduración recomendado para iniciar su consumo

Carbohidratos

Además de la firmeza en el fruto de papaya, otro atributo importante es el sabor y este está constituido por la concentración de azúcares disueltos en la pulpa. Según Chan et al. (1988), una porción de 100 g de papaya posee alrededor de 7.65-12.8 g de carbohidratos. La USDA (2015) señala que el contenido de carbohidratos en la papaya es de 10.82 g/100 g.

Se han reportado que los principales azúcares presentes en la papaya son: Sacarosa 78.3%, Glucosa 29.8% y Fructosa 21.9% (proporciones respecto al 100% de azúcares), además existe un aumento de los mismo hasta que los frutos han madurado en su totalidad (Selvaraj, 1982; Chan et al., 1988). La USDA (2013) reporta para papaya

fresca un contenido total de azúcares de 7.86 g/100g. En estados prematuros la glucosa es el más predominante, sin embargo durante la maduración la sacarosa aumenta de dos a cinco veces, superando a glucosa y fructosa (Selvaraj et al., 1982). Otros autores señalan que la disminución de la sacarosa durante la maduración es debido a la actividad de la invertasa (EC 3.2.1.26) la cual disocia la sacarosa en glucosa y fructosa (Pal y Selvaraj, 1987).

La papaya contiene una cantidad muy baja de almidón y durante su maduración no existe una acumulación. El contenido en estado verde es del 0.13% y en estado maduro 0.06% aproximadamente (Mitra, 1997; Gómez et al., 2002).

Algunos autores reportan que el compuesto de 1-MCP no impide la acumulación de azúcares en el fruto, señalan que los valores de sacarosa, glucosa y fructosa de la fruta tratada son similares y superiores a la fruta control, asociándolo al retraso del proceso de maduración (Fabi et al, 2007; Souza et al, 2015). Discuten que debido a la trazas de almidón presentes no es posible explicar la acumulación de azúcares solubles, estos autores lo relacionan con algunos mecanismos de desmontaje de la pared celular, los cuales podría proporcionar una fuente de carbono para la síntesis de azúcar durante la maduración, incluyendo sacarosa (Fabi et al., 2007).

Ácidos Orgánicos

La acidez de las frutas afecta en gran medida el sabor y la calidad sensorial en combinación con azúcares y compuestos aromáticos volátiles. El ácido orgánico predominante en fruta madura varía según las especies: el ácido cítrico es dominante en los cítricos y mango (Gil et al., 2000; Sadka et al., 2000), mientras que, el ácido málico es dominante en frutas de pepita, tales como melocotón (Moing et al., 1998) y pera (Chen et al., 2007) entre otros.

En papaya, los ácidos orgánicos no volátiles forman la mayor proporción (80-90%) del total de la acidez de la fruta. Los ácidos cítrico y málico son los que predominan pero la presencia de ácidos como el tartárico, fumárico, y succínico también se observan aunque en muy pequeñas cantidades (Selvaraj et al, 1982). La concentración total de los ácidos no volátiles decrece durante la maduración, hasta llegar al mínimo en el último estado de madurez (Ghanta et al., 1994); sin embargo, se han observado leves incrementos en la acidez durante la maduración potencialmente asociados, que al incremento en el ácido galacturónico libre (Paull, 1993).

El contenido de ácidos orgánicos en los frutos tiende a disminuir durante el proceso de maduración, debido a la oxidación del ácido en la reacción de ácidos tricarbónicos en el proceso respiratorio. De esa forma el contenido de ácidos orgánicos puede ser un indicativo del estado de maduración del fruto, ya que la acidez decrece en función de la maduración, para la mayoría de los frutos. Pero, cabe destacar que para un mismo cultivar, la acidez es influenciada por varios factores tales como nutrición mineral, condiciones climáticas, estado de madurez y localización del fruto en la planta (Wills, 1999).

Wills y Widjanarko (1995) relatan que los principales ácidos orgánicos que surgen durante la maduración de papaya son el ácido cítrico y el málico, aunque también se encuentran los ácidos galacturónico, tartárico, alfa-cetoglutarico y ascórbico.

El ácido orgánico de mayor concentración en papaya es el ácido cítrico (336 mg/100g fw) seguido del ácido málico (209 mg/100 g), ácido quínico (52 mg/100 g), ácido succínico (52 mg/100 g), ácido tartárico (13 mg/100 g), ácido oxálico (10 mg/100 g), y ácido fumárico (1.1 mg/100 g) (Hernández et al., 2009).

Sólidos Solubles Totales

La maduración de los frutos implica usualmente el incremento de azúcares y el decremento de los ácidos. Al madurar las frutas, aumenta la concentración de sólidos disueltos en éstas, que en su mayoría están formados por azúcares. En las papayas maduras los azúcares que predominan son sacarosa, glucosa y fructosa (USDA, 2009). Kader et al., (2002) proponen que el valor mínimo del contenido de sólidos solubles en papaya para un sabor aceptable es de 11.5 °Brix.

Etileno en poscosecha

El etileno regula la maduración y senescencia de productos agrícolas a nivel molecular, bioquímico y fisiológico (Kesari et al., 2007), debido a que estimula la expresión de genes que codifican para las enzimas relacionadas con los cambios durante la maduración y/o senescencia (Jiang y Fu, 2000). El etileno tiene un papel doble en la poscosecha, por un lado ocasiona que los frutos adquieran características sensoriales óptimas para su consumo, pero también es responsable de la senescencia de los tejidos, generando efectos desfavorables en la calidad (Bapat et al., 2010).

La fruta tratada con etileno se madura más rápido y más uniforme, lo cual se expresa en desaparición del color verde, ablandamiento y cambio de color de la pulpa. Ya que la papaya se madura de adentro hacia afuera, el efecto del tratamiento de etileno es el de acelerar el ritmo de maduración del tejido mesocarpo que está más cerca de la cáscara que no ha empezado a suavizar. El tejido mesocarpo que ya está bien suavizado y que está más cerca de la cavidad seminal no responde al etileno (Selvaraj y Pal, 1982).

El conocimiento del mecanismo de acción del etileno ha permitido generar diferentes tecnologías y procedimientos para disminuir sus efectos negativos, donde se incluye la refrigeración, uso de atmósferas modificadas y controladas, aplicación de

calcio, entre otros; sin embargo, los químicos que retardan la madurez han mostrado mayor eficiencia en el control de la maduración y senescencia de frutos, hortalizas y flores (Arora et al., 2008).

Los químicos que retardan la maduración se pueden clasificar en inhibidores de la síntesis de etileno, donde se incluyen productos como aminoetoxivinilglicina (AVG) y ácido aminooxiacético (AOA); y bloqueadores de la acción del etileno, como 1-metilciclopropeno (1-MCP) y sales de plata (nitrato y tiosulfato de plata) (Serek et al., 2006), entre otros. Otro grupo son los oxidantes de etileno, siendo el permanganato de potasio KMnO_4 el producto más importante (Wills y Warton, 2004).

El etileno se sintetiza a partir del aminoácido metionina, primero se da la conversión de metionina a S-adenosil-L-metionina (SAM) catalizada por la enzima SAM sintetasa, luego se presenta la formación de 1-aminociclo-propano-1-ácido carboxílico (ACC) a partir de SAM mediante la enzima ACC sintasa (ACS) y finalmente la conversión de ACC a etileno, catalizada por la ACC oxidasa (ACO) (Bapat et al., 2010). La metionina es reciclada en el ciclo de "Yang" lo que conlleva a tener altas tasas de producción de etileno sin necesidad de altos niveles de metionina intracelular (Barry y Giovannoni, 2007).

La señalización inicia con la unión del etileno a un grupo de receptores proteicos presentes en la membrana del retículo endoplasmático (Chen et al., 2005), los cuales son codificados por una familia multigénica que produce proteínas estructuralmente diferentes pero con una función redundante (Chen et al., 2005; Bouzayen et al., 2010). La unión etileno-receptor ocurre en el dominio N-terminal del receptor y requiere iones de Cu (I) para formar un dímero de receptor (Binder, 2008). Los genes que codifican para los receptores se expresan diferencialmente dependiendo del órgano, tejido, etapa de desarrollo y en respuesta a estímulos exógenos (Bouzayen et al., 2010). El número de receptores varía entre especies, por ejemplo, en *Arabidopsis* se han reportado 5 receptores (ETR1 y 2 (ETHYLENE- RESPONSE); ERS1 y 2 (ETHYLENE-SENSOR) y EIN4 (ETHYLENE-INSENSITIVE) (Klee y Giovannoni, 2011); en tomate 7 (ETR1 al 7,

donde ETR3 se conoce como NR (NEVER-RIPE)) (Barry y Giovannoni, 2007) y en manzana 5 (ETR1-2-5 y ERS1-2) (Yang et al., 2013).

Pérdidas Poscosecha

A pesar de la gran demanda de papaya fresca y a la gran producción de los países consumidores y exportadores, la industria global de la papaya se enfrenta a grandes problemas que tiene que ver con las pérdidas poscosecha a lo largo de los eslabones de la cadena de mercadeo. Las pérdidas poscosecha son aquellas que se manifiestan durante la cosecha, transporte, almacenamiento y comercialización de los productos hortofrutícolas (Wills et al., 1998).

En la cadena mexicana de la papaya no se ha realizado un diagnóstico preciso de las pérdidas que ocurren a éste nivel, pero se estima que en poscosecha puede alcanzar hasta un 30 % dependiendo de la variedad y de las condiciones de manejo. Las principales causas de este tipo de pérdidas son las enfermedades causadas por hongos, desordenes fisiológicos, daño mecánico, o más de uno de las anteriores. Además, el fruto es climatérico cuya maduración ocurre rápidamente poco después de la cosecha, caracterizándose por ser una fruta muy perecedera (Kader, 2007).

Obviamente estos problemas generan una gran preocupación cuando es muy clara la oportunidad de mercado, en el sentido de que existe una creciente demanda mundial por la fruta (Propapaya, 2014).

Tecnologías Poscosecha Para Aumentar la Vida de Anaquel

Los principales objetivos de la aplicación de una tecnología poscosecha a las frutas tropicales ya cosechadas, son mantener la calidad en lo relativo al aspecto, textura, sabor y valor nutritivo, conservar la inocuidad del alimento y reducir las pérdidas a lo largo de la cadena del suministro, desde la recolección hasta el consumo.

Las causas principales de las pérdidas poscosecha de los cultivos tropicales son, entre otras (De la Cruz, 2010):

- Daños mecánicos causados por una mala manipulación a lo largo de la cadena del suministro.
- Pérdida de humedad por evaporación y transpiración que causa el marchitamiento.
- Envejecimiento prematuro y muerte del tejido por interrupción de la tasa metabólica en un almacenamiento a temperatura superior a la óptima o muy baja.
- Corta vida en almacén debido a la biosíntesis de etileno, que induce a la maduración y senescencia acelerada de los frutos.
- Podredumbre y roña a causa de la invasión de elementos patógenos en las frutas dañadas o contaminación cruzada.

En frutos climatéricos como la papaya, el incremento en la tasa respiratoria y el inicio de la producción de etileno son etapas importantes en el proceso de maduración. La señal del etileno generada durante este periodo dispara cambios como la conversión de almidones a azúcares solubles, modificación de la acidez, desarrollo de aromas, degradación de clorofila, síntesis de carotenoides y flavonoides así como el ablandamiento de la pulpa. En condiciones normales el proceso de maduración es irreversible, incontrolable y degenerativo, una vez que se ha iniciado el efecto de etileno, lo que provoca en los frutos la pérdida de peso y apariencia, lo cual está

estrechamente relacionado con genes que son altamente dependientes del etileno y que provocan la senescencia en frutos (Osuna-García et al., 2009).

Existen varios métodos para alargar la vida útil de los frutos tropicales, entre ellas se encuentra la refrigeración, atmosferas controladas y/o modificadas, películas comestibles de diferente naturaleza y el uso de inhibidores de la biosíntesis de etileno e inhibidores de la recepción, algunos de los cuales se describen a continuación.

Almacenamiento en Frío

El uso de bajas temperaturas es el método más utilizado para el almacenamiento prolongado de frutas y hortalizas frescas. El objetivo del enfriamiento es reducir la tasa metabólica de la fruta y prolongar así su vida de anaquel, también el de reducir el desarrollo de patógenos. Sin embargo, temperaturas muy bajas pueden ocasionar daño por frío, y a temperaturas muy elevadas incrementan la actividad metabólica que afecta el de tiempo de almacenamiento de los frutos (Fonseca et al., 2003). En papayas se utilizan las siguientes temperaturas:

1. 13°C (55°F) para papayas verdes (pero maduras) a ¼ amarillas
2. 10°C (50°F) para papayas parcialmente maduras ¼ a ½ amarillas
3. 7°C (45°C) para papayas maduras (>½ amarillas) (Kader, 2010)

Atmósferas Modificadas y/o Controladas

En las atmosferas modificadas (AM) o controladas (AC) se eliminan o se añaden gases para crear una composición atmosférica alrededor del producto que difiera de aquella del aire normal (78.08% de N₂, 20.95% de O₂ y 0.03% de CO₂). Usualmente esto involucra la reducción de oxígeno (O₂) y/o la elevación de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) (Kader, 2007).

En general, la atmosfera modificada reduce la tasa de respiración y la producción de etileno, retrasando así la maduración del fruto. Normalmente, se emplean películas de plástico de diferentes permeabilidades, siendo las más utilizadas las de polietileno o cloruro de polivinilo (PVC) debido a practicidad, bajo costo y eficiencia en retardar la maduración de frutas y verduras (Chitarra, 2005).

Antagonistas del Etileno

La principal estrategia de la conservación en poscosecha es el manejo del etileno disminuyendo los niveles en la atmósfera, ya sea bloqueando su síntesis o reduciendo su acción elicitora (Ayoub et al., 1976; Martínez-Romero et al., 2007). Existen una serie de compuestos que disminuyen los efectos del etileno, como son las citoquininas, CO₂, óxido nítrico, óxido nitroso, rhizobitoxina y diferentes alquenos cíclicos (Alexieva et al., 2004). Además, la literatura reporta diferentes compuestos inhibidores de la biosíntesis de etileno a nivel de la enzima ACC sintetasa (AVG y AOA), compuestos que afectan la actividad de enzima ACC oxidasa (CO₂, etanol, acetaldehído) y compuestos que compiten por el aminoácido metionina en la ruta de la biosíntesis (Poliaminas) (Martínez-Romero et al., 2007). A nivel de receptor en la célula se reportan al STS (tiosulfato de plata), NBD (2,5 - norbornadieno), DACP (diazociclopentadieno), olefinas cíclicas como el 1-MCP (1-metilciclopropeno), entre otros que actúan como bloqueadores de la acción elicitora del etileno (Arora, 2008; Paul y Pandey, 2013). Sin embargo, los primeros 3 compuestos no se pueden usar en alimentos por ser altamente tóxicos. Otra opción para disminuir los efectos inducidos por el etileno, es el uso de agentes oxidantes como KMnO₄, no obstante, éste no puede estar en contacto directo con los alimentos (Martínez-Romero et al., 2007).

Una de las principales limitantes del uso de dichos compuestos en poscosecha de frutas y hortalizas es su toxicidad. El 1-MCP dispone de un modo de acción no tóxico y es químicamente similar a las sustancias de origen natural (Blankenship y Dole,

2003). El 1-MCP no es tóxico para el ser humano ni para el ambiente, además, fue registrado como un químico GRAS (Generally Recognized As Safe) por la FDA (Food and Drug Administration) en el 2004 y como un compuesto seguro “safe” por la EPA (Environmental Protection Agency) en el 2002. Los productos comerciales de 1-MCP son EthylBloc®, Samart Fresh™, SmartTabs™ y EthylBloc™, los cuales contienen 0.14, 3.3, 0.43 y 0.014 % de 1-MCP respectivamente. Cuando estos productos son mezclados con agua u otras soluciones tampón, liberan el 1-MCP en forma de gas (FAO, 2010). Además, recientemente se ha reportado la aplicación en pre-cosecha y poscosecha de 1-MCP en forma de aspersión con el producto Harvista™ (Varanasi et al., 2013) y para el tratamiento por inmersión de los frutos con la formulación ‘AFxRD-300’ (2% de 1-MCP) (Paul y Pandey, 2013). El 1-MCP no es tóxico al humano y su residualidad es insignificante, debido a que actúa a concentraciones del orden de partes por billón (ppb o nl/L) (Lurie y Paliyath, 2008).

1-Metilciclopropeno (1-MCP)

Los estudios del 1-MCP parten de la investigación realizada por Edward Sisler en la Universidad de Carolina del Norte en 1984. Sisler sintetizó varias olefinas (compuestos con propiedades parecidas al etileno) como el 2,5-norboARNdieno, DACP y 1-MCP inicialmente llamado SIS-X, encontrando un mejor comportamiento del 1-Metilciclopropeno con efecto anti etileno (Reid y Staby, 2008). El papel del 1-MCP en la ciencia y la tecnología poscosecha es doble, debido a que por un lado proporciona una tecnología eficiente y simple para preservar la calidad de frutas y hortalizas, aumentando la vida útil y manteniendo la calidad de los productos agrícolas frescos y por el otro, causa el rápido deterioro de ellos (Nanthachai et al., 2007). Además, el 1-MCP es una herramienta útil en la investigación para elucidar los mecanismos moleculares fundamentales que intervienen en la regulación de la maduración y la senescencia de los frutos, debido a que bloquea la vía de señalización del etileno (Blankenship y Dole, 2003; Lurie y Paliyath, 2008).

A nivel estructural, el 1-MCP (C_4H_6) es una olefina cíclica (Figura 3), análoga al producto de la descomposición del DACP, teniendo una función similar, pero menos tóxica y más estable bajo condiciones normales (Serek et al., 1995). Bajo condiciones ambientales el 1-MCP es un gas, razón por la cual se utiliza α -ciclodextrina para realizar formulaciones comerciales en polvo que liberan el 1-MCP cuando se mezclan con agua (Blankenship y Dole, 2003).

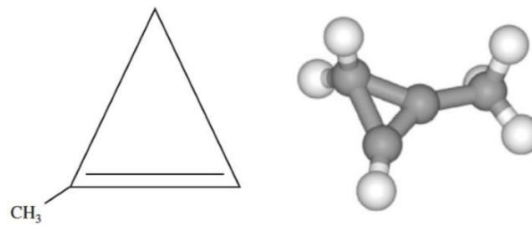


Figura 1. Forma molecular del 1-MCP.

El mecanismo de acción del 1-MCP se realiza mediante el bloqueo de los receptores de etileno, con lo cual se inhiben o retrasan las respuestas inducidas por ésta hormona en los tejidos vegetales por largos periodos (Jiang y Joyce, 2003), reduciendo las pérdidas en poscosecha de frutos climatéricos, incluso también en frutos no climatéricos (Valero et al., 2004). Sisler et al. (1996), reportan que el 1-MCP se une de manera irreversible a los receptores de etileno, bloqueando la cascada de transducción de señales que conllevan a la expresión de genes relacionados con la respuesta al etileno (Pathak et al., 2003; Blankenship y Dole, 2003). El 1-MCP es una molécula con un grupo metilo unido a un doble enlace, con estructura de aleno, y es probable que esta sea la razón de la capacidad de unirse al Cu (I) presente en los receptores celulares (Sisler y Serek, 1997).

La efectividad del bloqueo de los receptores celulares por el 1-MCP está dada por la muy baja constante de inhibición ($K_i = 2-8 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$), comparado con la constante del etileno ($K_d = 36 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$) (Serek et al., 1995), es decir que el 1-MCP presenta al menos

10 veces mayor afinidad por los receptores comparado con el etileno (Sisler y Serek 1997). Si bien, la unión del 1-MCP a los receptores es irreversible (Sisler et al., 1996; Blankenship y Dole, 2003); también, se ha reportado que los tejidos pueden sintetizar nuevos receptores a los que puede unirse el etileno y desencadenar la secuencia de señales que llevan a la expresión de genes durante la maduración (Sisler et al., 1996; Cameron y Reid, 2001; Blankenship y Dole, 2003); es decir, que el 1-MCP sólo inhibe temporalmente la síntesis de receptores (In et al., 2013). La síntesis de nuevos receptores lleva a la recuperación de la sensibilidad de los tejidos al etileno, por lo tanto, en teoría los frutos recuperan la capacidad de madurar normalmente. Se ha reportado que el tratamiento con 1-MCP inhibe por 10 días la maduración en aguacate (Blankenship y Dole, 2003), 5-10 días en tomate y 12 días en clavel y banano (Sisler y Serek, 1997), sin embargo, posteriormente los frutos maduran normalmente.

Factores que afectan la eficacia del 1-Metilciclopropeno.

Existen diferentes factores que influyen en la respuesta al tratamiento con 1-MCP, los cuales podemos mencionar el cultivar, el estado de desarrollo, el tiempo de la cosecha al tratamiento y temperatura durante el tratamiento, entre otros (Blankenship y Dole, 2003; Park, 2012). Paul y Pandey (2013), clasificaron los factores en dos grupos: aquellos relacionados directamente con el fruto (especie, variedad, cultivar, estado de madurez, velocidad de maduración, nivel interno de etileno, características morfológicas y anatómicas, cantidad de receptores, sitios no blanco de unión al 1-MCP, capacidad de regeneración de receptores) y los relacionados con el ambiente (tiempo entre la cosecha y el tratamiento con 1-MCP, temperatura durante la aplicación, duración del tratamiento, concentración del 1-MCP). En papaya, los factores más importantes que influyen en la respuesta al 1-MCP son el estado de madurez y la interacción entre la concentración de 1-MCP y el tiempo de tratamiento, en donde a mayor concentración, menor es el tiempo de tratamiento requerido (Jiang y Joyce,

2003). La importancia del estado de madurez, el cultivar y las variables de exposición (tiempo, temperatura y concentración) siguen siendo muy complejas y por lo que continúan las investigaciones (Watkins, 2006).

La concentración de 1-MCP óptima para bloquear la acción de etileno varía entre especies hortofrutícolas, pero normalmente se encuentra en el rango de 1 a 100 $\mu\text{L L}^{-1}$, mientras que el tiempo de tratamiento oscila entre 2 y 36 h (Blankenship y Dole, 2003). En papaya 'Maradol', no se reporta una dosis óptima y las investigaciones realizadas muestran aplicaciones desde 10 $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$ hasta 500 $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$, con diferencias en la respuesta durante la maduración, a su vez, el tiempo de tratamiento varía entre 0 y 24 h. Urbano et al. (2006), reportan que una dosis de 100 $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$ es efectiva para reducir los efectos negativos del etileno y prolongar la vida en poscosecha de papaya 'Maradol', aunque se observa una respuesta favorable a concentraciones inferiores. Sin embargo, concentraciones demasiado altas (300 $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$) afectan de manera irreversible la maduración (Sañudo et al., 2008). Resultados similares fueron reportados por Osuna-García et al. (2005), con concentraciones de 200 $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$.

Estudios previos realizados con 1-MCP

El 1-MCP ha sido utilizado en diversos estudios. Existen citas en papaya por Hoffman et al. (2001), Jacomino (2002), Pérez et al. (2003); Fabi et al., (2007) y Manenoi et al., (2007), encontrando disminución de la maduración y del ablandamiento, retraso del pico respiratorio y aumento de la vida poscosecha. Thumdee et al. (2010) reportaron que el 1-MCP retrasa la producción de etileno, la respiración climatérica, el desarrollo de color de la epidermis y el ablandamiento, sin afectar el contenido de sólidos solubles totales y la pérdida de peso. En mango Ataulfo, Muy et al. (2009), reportaron que con la aplicación de 1-MCP 400 ppb se logró el mantenimiento de la firmeza del fruto y la inhibición de la actividad de las enzimas poligalacturonasas y carboximetilcelulasa, lo

cual indica que no afectó la degradación de pectinas y celulasa presentes en la pared celular del fruto.

En pera, Mahajan et al. (2010), reportan disminución de la pérdida de peso, mantenimiento de la firmeza y calidad, aumentando la vida poscosecha, con la aplicación de 1000 ppb por 4 h de 1-MCP. En fresa (Tian et al., 2000) detectaron una disminución de la respiración. En melón el uso de 1.0 ppb 1-MCP inhibió la actividad de las enzimas poligalacturonasa (PG), β -galactosidasa (β -gal) y β -galactanasa, manteniendo la firmeza de los frutos (Supapvanich y Tucker, 2011). En flores de corte (Serek et al., 1995) dosis de 20 ppb de 1-MCP durante 6 h, mostró un incremento de la vida en florero. En granadilla, Dussan et al. (2011) reportaron un incremento de la vida útil con el uso de 600 mg/l de 1-MCP, conservando las características sensoriales como sabor y color. En tomate, Báez et al., (2001) observaron que los frutos con 1-MCP se mantuvieron más firmes en relación al testigo y el ablandamiento se presentó de manera escalonada dependiendo de la dosis de 1-MCP.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál es la dosis mínima de 1-MCP que mejore la vida de anaquel de papaya 'Maradol' pre-tratada con 100 ppm de etileno?
2. ¿Cuál es el efecto de la aplicación de la dosis mínima de 1-MCP encontrada en la etapa 1 sobre la calidad comercial y la calidad de consumo del fruto de papaya 'Maradol' después del almacenamiento en frío (10 días a 10°C)?
3. ¿Cuál es el efecto de la dosis mínima de 1-MCP sobre las concentraciones de sacarosa, glucosa, fructosa ácido cítrico y ácido málico en el proceso de maduración de los frutos de papaya 'Maradol'?

HIPÓTESIS

1. La concentración de 100 ppb de 1-MCP combinada con 100 ppm de etileno, es la dosis mínima que mejora la vida de anaquel de papaya 'Maradol'.
2. La aplicación de la dosis mínima de 1-MCP permite mantener más de 5 días la calidad comercial del fruto de papaya 'Maradol' después del almacenamiento de 10 días a 10 °C.
3. La aplicación de la dosis mínima de 1-MCP permite las acumulaciones de sacarosa, glucosa, fructosa, ácido cítrico y ácido málico durante la maduración del fruto de papaya 'Maradol'.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Se realizó un estudio experimental en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Unidad Culiacán; en donde se llevaron a cabo 2 etapas experimentales. En la etapa 1 se aplicó el pre-tratamiento con etileno y las concentraciones de 50, 100, 200 y 300 ppb de 1-MCP en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) variedad 'Maradol' provenientes de un empaque comercial de Tecomán, Colima. Las concentraciones de 1-MCP se probaron en lotes de fruta, teniendo un lote como testigo sin aplicación, y dos replicas por cada tratamiento. En la etapa 2 se llevaron a cabo análisis periódicos de calidad (pérdida de peso, colores de superficie y pulpa de la fruta, firmeza, sólidos solubles totales, pH, acidez titulable, respiración y producción de etileno) durante condiciones controladas de temperatura. Además, se realizaron análisis bioquímicos de azúcares individuales: sacarosa, glucosa, y fructosa; y de ácidos orgánicos: cítrico y málico.

OBJETIVOS

Objetivo general

Extender la vida comercial de papaya 'Maradol' destinada a la exportación mediante la aplicación de 1-Metilciclopropeno (1-MCP).

Objetivos específicos:

- Evaluar la calidad física (color, pérdida de peso y firmeza) en frutos de papaya 'Maradol' tratados con etileno y 1-MCP, almacenados bajo simulación mercadeo a 20°C después de 10 días a 10°C.
- Evaluar la tasa respiratoria y producción de etileno en frutos de papaya 'Maradol' tratados con etileno y 1-MCP, almacenados bajo simulación mercadeo a 20°C después de 10 días a 10°C.
- Evaluar los parámetros de calidad química (pH, % acidez titulable y sólidos solubles totales) en frutos de papaya 'Maradol' tratados con etileno y 1-MCP, almacenados bajo simulación mercadeo a 20°C después de 10 días a 10°C.
- Evaluar azúcares (sacarosa, glucosa, fructosa) y ácidos orgánicos (ácido cítrico y ácido málico) en frutos de papaya 'Maradol' tratados con etileno y 1-MCP, almacenados bajo simulación mercadeo a 20°C después de 10 días a 10°C.

JUSTIFICACIÓN

La aplicación de 1-MCP para controlar la maduración de diferentes frutas y hortalizas se ha venido realizando con diferente grado de éxito. Sin embargo, en papayas aún no se determinan las condiciones óptimas que permitan prolongar la vida comercial sin afectar las características de consumo en fresco más importantes. En este estudio, la búsqueda de alternativas de aplicación de 1-MCP a dosis baja (50 ppb para retrasar maduración) solo o combinado con Etileno (100 ppm para uniformizar el desarrollo de color), se valora como una tecnología innovadora que pueda resolver la problemática de sobremaduración de la fruta, resistencia al manejo durante el transporte y re-empaque que se realiza en la cadena de comercialización hacia la exportación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de las Muestras

Se obtuvieron frutos de papaya variedad 'Maradol' tamaños 10 y 11 (número de frutos por caja de 40 lb) de la empacadora Zaragoza que se ubica en la zona de Tecomán, Colima. Se transportaron el mismo día al laboratorio de Calidad Poscosecha del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Unidad Culiacán. Posterior a su arribo los frutos se clasificaron en base a su tamaño, estado de madurez y se separaron los que poseían daños o defectos visibles.

Etapa 1

Pre-tratamiento con Etileno

Para uniformizar la maduración de los frutos cosechados en madurez fisiológica (color verde de la cáscara), se cubrieron con papel y se empacaron en cajas de cartón simulando las condiciones de empaque, para posteriormente gasear con etileno en dosis de 100 ppm ($\mu\text{L/L}$) durante 16 horas a 20°C en una cámara de refrigeración de 13 m^3 . Se utilizó un generador de etileno Ethygen® II alimentado con etanol como precursor. Posterior al tratamiento con etileno, los frutos se dejaron reposar por 8 horas en las mismas condiciones de almacenamiento con aire libre de etileno.

Tratamientos 1-MCP

Posterior al pre-tratamiento con etileno, para la aplicación del 1-MCP (SmartfreshSM 0.14%, Agrofresh, Inc.) los frutos se dividieron en 5 lotes: testigo (sin etileno y 1-MCP), Etileno (fruta tratada con etileno) y Etileno+1-MCP (fruta tratada con etileno y 50, 100, 200 y 300 ppb (nL/L) de 1-MCP), con dos réplicas de cada tratamiento. Cada réplica consistió de 20 frutos colocados en contenedores de acero inoxidable de 0.238 m³ herméticamente cerrados y mantenidos en una cámara refrigerada a 20°C durante 12 h.

Almacenamiento Refrigerado Simulación Mercadeo

Después de la aplicación de 1-MCP, los frutos de todos los tratamientos se almacenaron en una cámara refrigerada a 10±1°C y 90% HR durante 10 días para simular las condiciones de transporte hacia el mercado de Estados Unidos y Canadá. Al término de este tiempo, los frutos se transfirieron a condiciones de simulación mercadeo a 20°C y 70% HR realizando los análisis de calidad cada dos días.

Etapa 2

De la etapa anterior, se seleccionaron frutos de los tratamientos testigo (sin etileno y 1-MCP), Etileno (fruta tratada con la hormona) y Etileno+1-MCP (fruta tratada con etileno y 50 ppb de 1-MCP) para realizar los análisis de calidad siguientes:

Análisis Físicos

Pérdida de peso

Es una medida repetida donde se pesaron 6 frutos por tratamiento de manera individual cada dos días durante el almacenamiento a 20°C. Se empleó una balanza digital Sartorius mod. BP4100. El resultado se calculó en base al porcentaje de peso perdido.

Se utilizó la fórmula:

$$\%Pérdida\ de\ peso = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} * 100$$

Dónde:

Pi: Peso inicial al salir del almacenamiento

Pf: Peso final en cada día de evaluación

Color de Cáscara y Pulpa

La medición del color de cáscara se realizó de manera repetida en cinco puntos de cada uno de los seis frutos utilizados para la medición de pérdida de peso. Para el color de pulpa, los frutos utilizados en la medición de firmeza fueron cortados longitudinalmente y se realizó la medición en tres sitios diferentes de la pulpa en cada fecha de evaluación. Los colores interno (pulpa) y externo (cáscara) se determinaron con un espectrofotómetro Konica Minolta CM-700d (Minolta Inc.), registrando los componentes de luminosidad (L), ángulo de matiz (°Hue) y cromaticidad (Croma). La luminosidad tiene valores que oscilan entre 0 (colores oscuros) y 100 (colores claros). En el ángulo de matiz (°Hue) los valores oscilan entre 0 y 360° que representan el color del fruto, por ejemplo a contra reloj, el rojo = 0°, amarillo= 90°, verde= 180°, azul= 270° y

de púrpura a rojo en 360°. La cromaticidad o saturación del color oscila entre 0 y 60, donde los valores bajos representan colores impuros (hacia el centro del círculo de color) mientras que los valores altos representan colores puros o más intensos (Figura 2) (Minolta, 2007).

Para interpretar el valor proporcionado por el equipo en coordenadas a^* y b^* se utilizaron las siguientes fórmulas para el cálculo de la cromaticidad (croma) y el ángulo de matiz:

$$\text{Cromaticidad} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\text{Ángulo de matiz} = (^\circ\text{Hue}) = \tan^{-1} \left\{ \frac{b^*}{a^*} \right\}$$

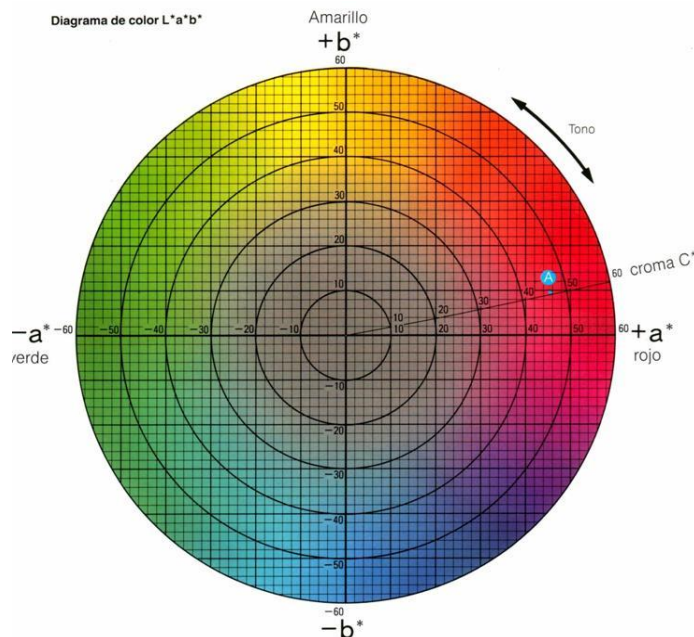


Figura 2. Diagrama del sistema de notación color a^* y b^* , cromaticidad (croma) y ángulo de matiz (tono).

Firmeza

La firmeza es una medida destructiva. Se realizó con un penetrómetro digital Ametek Chatillón modelo CS225 Series, equipado con punzón cilíndrico de 8 mm de diámetro. En cada fecha de análisis se utilizaron cuatro frutos por tratamiento con mediciones en cuatro puntos, eliminando previamente la cáscara. El punzón se insertó a una velocidad de 5.3 mm·s⁻¹. Se registró la fuerza de oposición del tejido a la penetración del punzón en Newton (N) (Sañudo et al., 2008).

Análisis Químicos

Acidez Titulable y pH

Para la determinación de acidez titulable y pH se utilizó el método de la AOAC (1998). Se pesaron 10 g de pulpa y se adicionaron 50 ml de agua destilada previamente neutralizada. Posteriormente, la mezcla se homogenizó en una licuadora convencional y se filtró el extracto a través de tela de organza. Del filtrado obtenido, se tomaron 50 ml para determinar pH y acidez titulable con un titulador automático Mettler Toledo T50 equipado con un electrodo de cristal DGi 111-SC. La acidez titulable se expresó como porcentaje de ácido cítrico y el pH fue proporcionado directamente por el equipo.

Formula:

$$\% \text{ Acidez titulable} = \frac{(\text{ml NaOH gastado})(N \text{ del NaOH})(0.064)}{\text{ml de jugo titulado}} \times 100$$

Sólidos Solubles Totales

Para la determinación de sólidos solubles totales se utilizó el método de la AOAC (1998). Se tomó una muestra del extracto utilizado para acidez y pH y se colocó en un refractómetro Mettler Toledo RM40. Los resultados obtenidos se multiplicaron por el factor de dilución (agua y pulpa) y se expresaron en °Brix.

Análisis Fisiológicos

Respiración y Producción de Etileno

Para medir la producción de etileno y CO₂ por efecto de la respiración, se colocaron frutos individuales en frascos de vidrio de 3.7 L, adaptados con mangueras de entrada y salida de aire y conectados a un tren de respiración con flujo constante de aire (60 mL/min aprox.) y libre de CO₂. Diariamente de la manguera de salida, se extrajo 1 ml de gas con aguja hipodérmica el cual se inyectó a un cromatógrafo de gases Agilent mod. 7820A equipado con dos detectores en serie; uno de conductividad térmica (TCD) para la cuantificación de CO₂ y uno de ionización de llama (FID) para la detección de etileno. Para la separación de los gases inyectados en el equipo se utilizó una columna Hayesep Q 100/120 (6' longitud x 1/8" diámetro). Los resultados se obtuvieron calculando el área bajo la curva de los picos de interés comparados con los realizados en una curva de calibración con estándares de concentración conocida (Báez et al., 1997).

Extracción

La extracción de azúcares y ácidos orgánicos se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Pérez et al. (1997). Se pesaron 2 g de muestra por cada tratamiento y se licuaron con 15 ml de etanol frío al 90% con un Ultra-Turrax (mod. T25) por 2 min hasta macerar totalmente la pulpa. Se realizaron lavados con etanol al 90% para remover los sólidos insolubles y la recuperación del sobrenadante. Se consideraron como ciclo de lavado, la agitación de los sólidos insolubles con etanol, un baño sónico de 10 min, y la centrifugación a 5000 rpm a 4°C. Del volumen final de la recuperación del sobrenadante se tomó una alícuota de 0.5 ml para la determinación de azúcares, la cual se secó con una corriente de aire a 40°C durante 20 min, para finalmente re suspender el residuo en 2 ml de agua.

Cuantificación. El contenido de azúcares se determinó con el kit Megazyme Sacarosa, D-fructosa y D-glucosa (Megazyme International Ireland, 2014). Se colocó una muestra de 50 µl de cada tratamiento (tres replicas por tratamiento) en celdas (capacidad de 1 ml), posteriormente se les agregó 100 µl de β-fructosidasa solamente a las celdas de la parte superior, se homogenizaron y se dejaron reposar 10 min, se les agregó 1200 µl de agua a las mismas celdas y 1300 µl a las celdas de la parte baja, posterior se agregó 50 µl de imidazol (Buffer: 7.6), 50 µl de la solución de NADP+, se homogenizaron todas las celdas y se dejaron reposar 10 min. Después se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro UV-Visible Agilent Cary, a 340 nm. Posteriormente, a las muestras se les añadió 10 µl de la enzima hexoquinasa, se homogenizaron y se dejaron reposar durante 5 min, para después leer la segunda absorbancia. Por último a las celdas de la parte baja se les incorporó 10 µl de glucosa-6-fosfato-isomerasa (PGI), se homogenizaron y dejaron reposar durante 10 min, al cabo de este tiempo se leyó la última absorbancia a la longitud de onda mencionada.

El contenido de ácido cítrico se determinó con el kit de Megazyme (Megazyme International Ireland, 2014). En cada celda se colocaron 700 μ l de agua destilada, 100 μ l de muestra, 230 μ l del buffer (pH de 7.5), 100 μ l NADH⁺/PVP, 10 μ l de malato deshidrogenasa, se mezclaron y se dejaron reposar por 4 min. Después se leyó la primera absorbancia en un espectrofotómetro de UV-Visible Agilent Cary a 340 nm. Después se agregaron 10 μ l de la solución de citrato liasa (Cl), se homogenizó y se dejó reposar durante 5 min y se leyó la segunda absorbancia.

El contenido de ácido málico se determinó con el kit de Megazyme (Megazyme International Ireland, 2014). Se colocaron en las celdas 1 ml de agua destilada, 50 μ l de la muestra, 50 μ l de buffer L-glutamato y sodio (pH 10), 50 μ l de NAD⁺/PVP, 10 μ l de la suspensión Glutamato-oxaloacetato transaminasa (GOT), se mezclaron y se dejaron reposar por 3 min, y se leyó la primera absorbancia a 340 nm. Después se agregaron 10 μ l de L-malato deshidrogenasa (L-MDH), se mezcló durante 3 min y leyó la segunda absorbancia.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Etapa 1:

En esta etapa, para determinar la dosis mínima de 1-MCP, se implementó un diseño experimental de 1 factor: dosis de 1-MCP (0, 50, 100, 200, 300 ppb) totalmente al azar con 2 réplicas. La variable de respuesta fue firmeza (N). El análisis de datos se realizó mediante un ANOVA y las comparaciones de medias por una prueba de Tukey.

Etapa 2:

Para las variables no destructivas (color externo, pérdida de peso, producción de CO₂ y producción de Etileno) se implementó un diseño de un factor: la dosis de 1-MCP (0 y 50 ppb) totalmente al azar, con medidas repetidas en el tiempo (0, 1, 3, 5 días), el análisis estadístico se llevó a cabo mediante un ANOVA correspondiente al diseño y la comparación de medidas repetidas por medio de una prueba de Tukey.

Para las variables destructivas (firmeza, color interno, sólidos solubles totales, acidez, pH, azúcares solubles y ácidos orgánicos) se implementó un diseño de 2 factores totalmente al azar: dosis de 1-MPC (0 y 50 ppb) y tiempo (0, 1, 3 y 5 días). El análisis estadístico se llevó a cabo mediante un ANOVA correspondiente al diseño y la comparación de medias con una prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados Etapa 1

En el anexo 1A se muestra el análisis de varianza para la variable de firmeza de los frutos de papaya tratados con etileno y las concentraciones de 1-MCP de 50, 100, 200 y 300 ppb, almacenados por 10 días a 10°C con posterior exposición bajo simulación de mercadeo a 20°C por 3 días. Hubo diferencia entre tratamientos ($P=0.001$) y en los días de análisis bajo simulación mercadeo ($P=0.000$). La interacción doble Tratamiento*Días en simulación de mercadeo (DSM) no resultó significativa ($P=0.093$).

La dosis de 50 ppb fue la dosis mínima que logró retener la firmeza por más tiempo, hasta 3 días después del almacenamiento en frío (Figura 3). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Ding y Swee Bee, (2008) en donde indican que concentraciones arriba de 30 ppb de 1-MCP generan una mejor respuesta en fruto, y presentaban una menor pérdida de firmeza, manteniéndose hasta por 9 días.

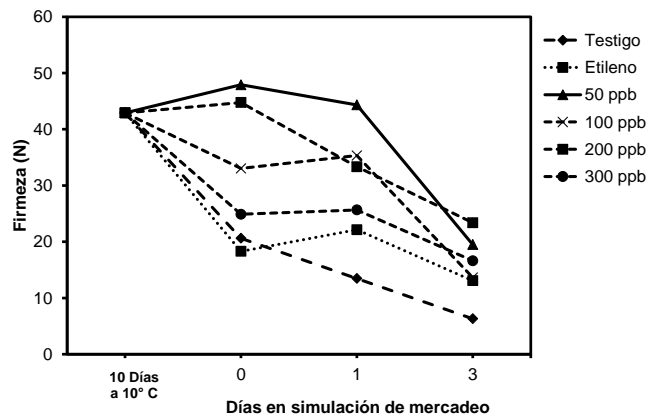


Figura 3. Firmeza en papaya 'Maradol' tratada con etileno y 1-MCP.

Resultados Etapa 2

Calidad Física

Firmeza

En el Anexo 2A se muestra el análisis de varianza de la firmeza de los frutos de papaya tratados con etileno y 50 ppb de 1-MCP, almacenados por 10 días a 10°C con posterior exposición bajo simulación de mercadeo a 20°C por 5 días. Se encontró diferencia entre tratamientos ($P=0.003$) y en los días de análisis bajo simulación mercadeo ($P=0.000$). La interacción doble Tratamiento*Días en simulación de mercadeo (DSM) no resultó significativa ($P=0.056$).

El análisis de efectos principales para la firmeza de los frutos de papaya muestra que los frutos tratados con Etileno+1-MCP fueron más firmes que los frutos testigo y los expuestos solamente con etileno (Figura 4A). Conforme transcurrieron los días de almacenamiento en frío y posterior simulación mercadeo, la firmeza disminuyó drásticamente en los primeros tres días, manteniendo valores similares posteriormente (Figura 4B).

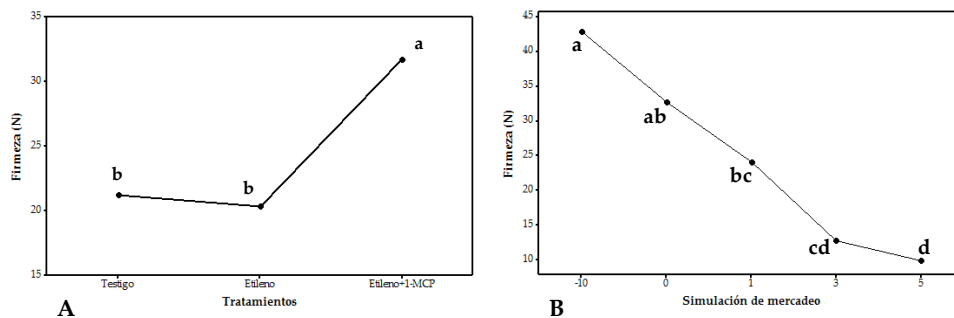


Figura 4. Efectos principales de tratamientos (A) y días de simulación mercadeo a 20°C (B) de papaya expuesta a etileno y 1-MCP

En la interacción de tratamientos y tiempo (Figura 5), se observa que previo al almacenamiento en frío (10°C), con solamente el pre-tratamiento con etileno, los frutos mostraban una firmeza de 43 N. Después de 10 días de almacenamiento a 10°C, las papayas sin tratamiento (testigo) presentaban una firmeza cercana a 30 N (reducción del 30% de la firmeza); mientras que los frutos tratados solamente con etileno mostraban valores de 18 N, lo cual refleja una pérdida de firmeza del 58% ocasionada por la rápida acción del etileno. Contrariamente, los frutos tratados con Etileno+1-MCP aún mantenían valores de firmeza similares a cuando iniciaron el estudio con valores de 45 N.

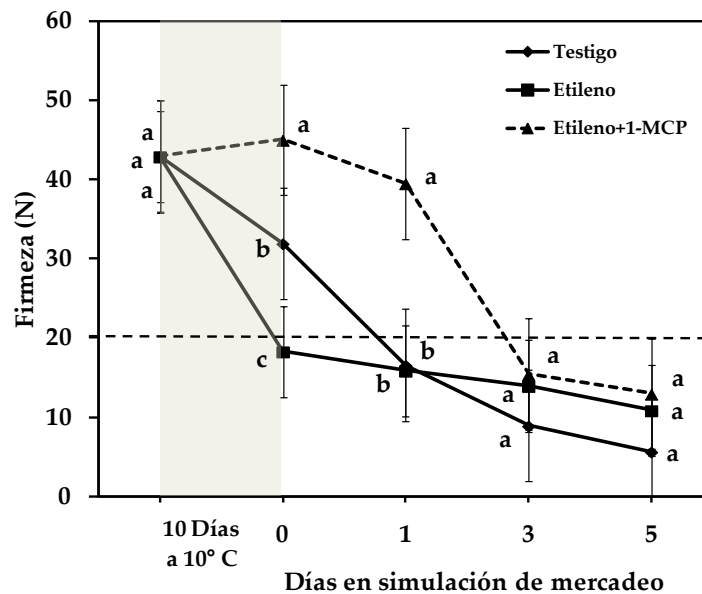


Figura 5. Firmeza de papaya tratada con etileno y 1-MCP, almacenada 10 días a 10°C más 5 días a 20°C. Letras diferentes indican diferencias estadísticas. Barras indican la desviación estándar.

Durante la simulación de mercadeo, los frutos testigo continuaron disminuyendo su firmeza hasta valores por debajo de 10 N al tercer día lo cual significó una pérdida de firmeza del 80%, relacionándose con frutos demasiado blandos para ser comercializados.

El tratamiento con etileno aceleró la maduración de los frutos. Posterior al almacenamiento de 10 días en frío, las papayas tratadas solo con etileno ya poseían madurez de consumo (≤ 20 N) de acuerdo a los reportado por Urbano et al. (2006), y durante los cinco días en simulación mercadeo los frutos mostraron una ligera disminución en el patrón de firmeza hasta valores de 10 N en el último día.

Resultados similares fueron reportados por Sañudo et al. (2008), en donde los frutos de papaya 'Maradol' tratados con etileno alcanzaron los atributos de consumo desde el tercer día posterior a la aplicación.

Osuna et al. (2005), reportaron en papaya 'Maradol' una pérdida de firmeza del 85% para frutos testigos después de 6 días de almacenamiento a 12°C y de solamente 1% en frutos que fueron tratados con 200 ppb de 1-MCP.

Los frutos con Etileno+1-MCP lograron retener la firmeza hasta por 5 días en simulación de mercadeo posterior al período en frío, mostrando al final del estudio valores similares a los frutos tratados con etileno al quinto día (10 N). Los frutos con Etileno+1-MCP lograron mantener un periodo de comercialización de 2 días (> 20 N) y lograron mantener la calidad de consumo (≤ 20 N) por 3 días. Urbano (2006), demostró el potencial de 100 ppb de 1-MCP para extender el periodo de comercialización del fruto de papaya por 5 días y la calidad de consumo por 3 días. Así mismo, menciona que la aplicación de dosis bajas es una buena alternativa para extender el periodo de comercialización de papaya 'Maradol' ya que no impide la maduración y todavía podría prolongar el tiempo en el que la fruta permanezca en buenas condiciones de consumo.

El comportamiento de los frutos tratados con Etileno+1-MCP, en los cuales se observa un descenso paulatino en la firmeza, se debe a que el compuesto 1-MCP no permite que la molécula de etileno se una a los sitios receptores de la célula, lo cual desencadenaría una serie de señales para que las enzimas responsables del ablandamiento de la fruta se sinteticen (Sisler y Serek, 1997).

En un estudio realizado por Sañudo et al., (2008), reportaron que el ablandamiento del fruto de papaya está asociado con dos eventos: la solubilización de la pared celular y la despolimerización de la pared péptica hidrosoluble. También señalan que la presencia de oligómeros ácidos potencialmente derivados de la acción de la poligalacturonasa, participan en el ablandamiento de los frutos.

Pérdida de Peso

El análisis de varianza para la variable de pérdida de peso no muestra diferencias significativas entre tratamientos ($P= 0.058$), pero si en los días de evaluación bajo condiciones de simulación de mercadeo ($P=0.000$) (Anexo 3a).

En la Figura 6, se muestra la pérdida de peso de los tratamientos durante el periodo de simulación de mercadeo (20°C). El comportamiento de los tratamientos fue similar durante todo el estudio, presentando una pérdida progresiva de peso a través del tiempo siendo los frutos tratados con etileno los que muestran una mayor pérdida de peso desde el primer día, hasta acumular un 6.3% de pérdida de peso al día 5. En el mismo período, el tratamiento testigo presento una pérdida de peso del 5.6% y el tratamiento etileno+1-MCP un 5.9%.

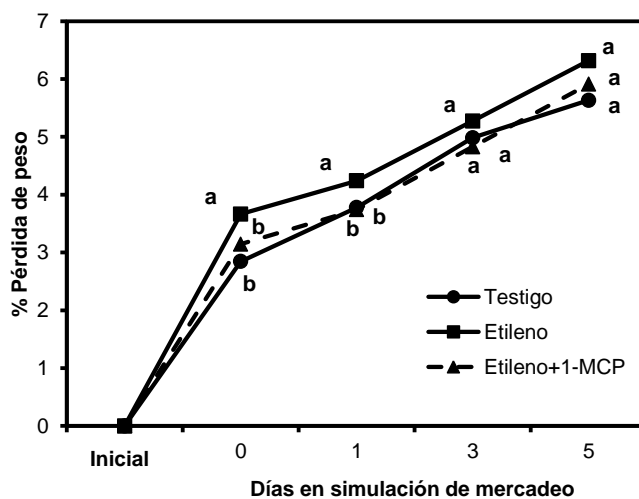


Figura 6. Pérdida de peso (%) de frutos de papaya tratados con etileno y 1-MCP en condiciones de simulación de mercadeo (20°C), después de 10 días a 10°C. Letras diferentes indican diferencias estadísticas.

La pérdida de peso en papaya, al igual que en otros frutos, está relacionada directamente con la pérdida de agua de los tejidos por efecto de la transpiración. En poscosecha, la transpiración es influenciada por diferentes factores, ya sean intrínsecos del propio fruto (características morfológicas y anatómicas, relación superficie / volumen), o ambientales (temperatura, humedad relativa, movimiento de aire y presión atmosférica) (Kader y Yahia, 2011). Dentro de los factores ambientales, la humedad relativa (HR), el déficit de presión de vapor (DPV) y la temperatura son los principales factores que influyen en la transpiración de los tejidos vegetales. De manera general, a mayor temperatura y DPV, la pérdida de peso es mayor (Paull, 1996; Kader y Yahia, 2011).

La pérdida de peso en papaya no fue afectada por el tratamiento con 1-MCP, lo cual coincide con lo reportado por Blankenship y Dole (2003) y Moradinezhad et al. (2008), quienes afirman que el 1-MCP no afecta significativamente dicha variable en los frutos.

En un estudio en mango realizado por Laurent (2011), 500 ppb de 1-MCP no afectaron la pérdida de peso en los frutos tratados, aunque si hubo mayor pérdida de peso en los frutos testigo. Caso contrario, Osuna et al. (2005), observaron que la aplicación de 200 ppb de 1-MCP redujo significativamente ($P \leq 0.05$) la pérdida de peso en frutos de aguacate 'Hass' almacenados a temperatura ambiente. En relación a esto, Blankenship y Dole (2003) mencionan que la efectividad del compuesto de 1-MCP se relaciona con la fisiología de cada especie.

Color Externo

Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($P=0.003$) en el color de la cáscara de los frutos (ángulo de matiz $^{\circ}\text{Hue}$) pero no en los días de almacenamiento bajo condiciones de simulación de mercadeo ($P=0.271$) (Anexo 4a).

Al inicio del almacenamiento a 10°C , posterior al pre-tratamiento con etileno, los valores promedio fueron de 102°Hue (color verde amarilloso). Después de 10 día en esta condición, el tratamiento con etileno solamente disminuyó a valores de 93°Hue y el de Etileno+1-MCP a valores de 98°Hue (Figura 7A). En ambos tratamientos, el ángulo de matiz ($^{\circ}\text{Hue}$), tendió a descender gradualmente mostrando colores de un tono verde a un tono amarillo-naranja.

Los frutos no tratados (testigo) no desarrollaron completamente el color amarillo característico de la cáscara de las papayas a lo largo de la simulación de mercadeo, manteniendo prácticamente los mismos valores que tenía al iniciar el almacenamiento en frío (102°Hue).

Durante el período de simulación de mercadeo, el tratamiento con Etileno+1-MCP retuvo el color de la cáscara del fruto con valores promedio de 96°Hue que indican coloraciones amarillas, sin cambios significativos a través del tiempo. No así los frutos tratados con etileno solamente los cuales desarrollaron más rápido el color

característico de los frutos desde el primer día en simulación de mercadeo con valores que descendieron de 93°Hue (amarillos) hasta valores de 87°Hue (amarillo-naranja) (Figura 7A).

La intensidad de color o “cromaticidad”, mostró un aumento gradual conforme avanzó el cambio de color, con valores de 28 al iniciar el almacenamiento en frío hasta valores de 30 lo cual indica que el color se volvió más intenso y más puro. El análisis estadístico no mostró diferencias significativas en cromaticidad de los frutos en los días en simulación de mercadeo ($P=0.840$), aunque si hubo diferencias entre tratamientos ($P=0.013$) (Anexo 5a).

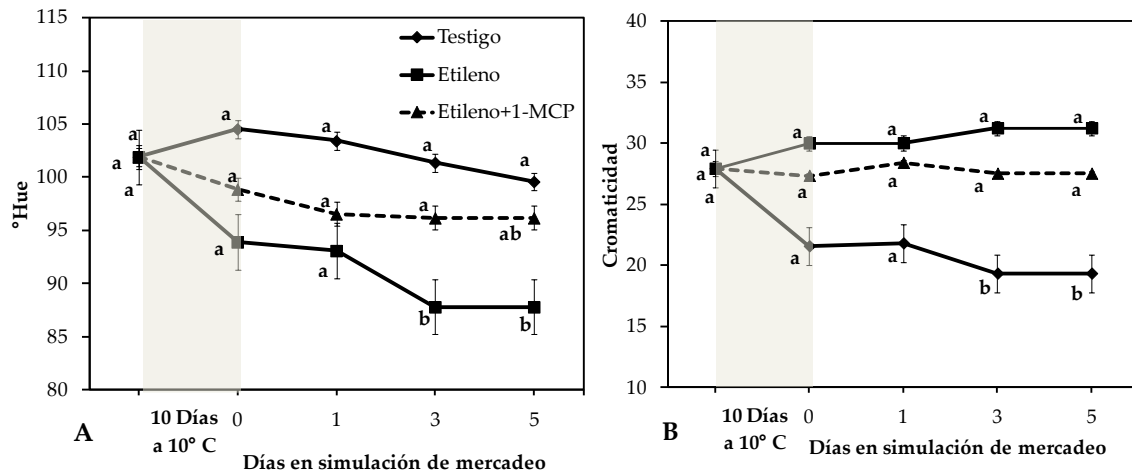


Figura 7. Color de cáscara, °Hue (A) y cromaticidad (B) en frutos de papaya 'Maradol' tratados con etileno y 1-MCP. Letras diferentes indican diferencias estadísticas. Las barras indican la desviación estándar.

Los frutos tratados con etileno desarrollaron los valores de cromaticidad más altos relacionados con colores más saturados ($C= 31$ al día 5) durante el almacenamiento en simulación de mercadeo. Mientras que el tratamiento testigo presentó valores más bajos de cromaticidad (Figura 7B) relacionados con una menor intensidad de color aunado a la incompleta coloración de cáscara de la fruta,

obteniendo así frutos con una apariencia en color verdoso y opaco. El tratamiento con Etileno+1-MCP no presentó diferencias significativas en los días de almacenamiento en simulación de mercadeo, teniendo valores de 27 al inicio y al final (Figura 7B). En trabajos previos Lelièvre et al. (1997), reportan que el 1-MCP redujo el desarrollo de color en la papaya 'Maradol', sugiriendo que la biosíntesis de carotenoides y la degradación de clorofila son eventos regulados parcialmente por el etileno.

En la luminosidad de los frutos el análisis estadístico mostró diferencias significativas entre tratamientos ($P=0.042$), y no se encontraron diferencias en los días de mercadeo ($P=0.966$) ni en la interacción Tratamiento*Simulación de mercadeo ($P=0.767$).

Al iniciar el período de simulación de mercadeo, los frutos del tratamiento testigo presentaban un valor de 44 en luminosidad, el tratamiento etileno de 45 y Etileno+1-MCP de 46. Durante el trascurso del almacenamiento a 20°C que simula las condiciones de anaquel, los frutos del tratamiento con etileno presentaron un aumento en la luminosidad hasta 49 unidades al día 3 y se mantuvo así hasta el final del almacenamiento lo cual se asocia con la aparición de los colores amarillosos de la cáscara los cuales son más claros. La luminosidad del tratamiento testigo al entrar al periodo de almacenamiento era de 45 y se redujo a 42 hasta el día 5. El tratamiento de Etileno+1-MCP mostró valores de luminosidad de 45 en el día 0 aumentando a 46 durante los últimos días de almacenamiento.

Santamaría et al. (2009), reportaron valores del color de papaya 'Maradol' en calidad de consumo de °Hue entre 70.04 – 80.20, de cromaticidad de 52.30 – 53.92 y luminosidad entre 55.39 – 58.47. Dichos valores no se alcanzaron en este estudio.

En un reporte realizado por Sañudo y Báez (2014), en papaya 'Maradol' almacenada 9 días a 20°C, se reportaron valores de 96°Hue, 55 de cromaticidad y 63 de luminosidad. Concordando solamente con los valores de °Hue de este estudio.

El color determinado por medio del valor de °Hue (ángulo de matiz) disminuye durante la maduración de papaya, lo cual indica el cambio de color de verde a amarillo-naranja. El cambio de color en la epidermis de papaya se debe a la degradación de clorofilas por actividad enzimática y al desenmascaramiento de carotenoides (Thompson, 2011).

El 1-MCP previene o disminuye la degradación de clorofilas y los cambios de color característicos de la maduración en un gran número de especies vegetales (Blankenship y Dole, 2003; Watkins, 2006). En papaya se ha reportado que el 1-MCP retrasa el desarrollo de color amarillo de la epidermis Jacomino et al. (2002); Osuna et al. (2009); Sañudo et al. (2008); Fabi et al. (2007) y Urbano et al. (2006), lo cual coincide con lo encontrado en el presente estudio. El retraso del color está relacionado con la menor degradación Oliveira Neto y Melo Silva (2003) y mantenimiento de la fluorescencia de la clorofila (Fm) en la epidermis de los frutos (De Martino et al., 2007).

El mecanismo por el cual el 1-MCP disminuye o retrasa el cambio de color en los frutos no se ha dilucidado completamente, pero puede estar relacionado con la disminución de la producción de etileno, con lo cual también disminuye la expresión de genes que participan en la degradación de clorofilas y síntesis de carotenoides, lo que a su vez permite a los frutos permanecer verdes por más tiempo (Jiang y Fu, 2000).

Color Interno

El análisis de varianza para el color interno (pulpa) no muestra diferencias significativas entre tratamiento ($P=0.354$), pero sí en los días en simulación de mercadeo ($P=0.000$) para los valores de ángulo de matiz, cromaticidad y luminosidad (Anexo 7a).

Al entrar al período de almacenamiento en frío (10°C) los frutos poseían un valor de 51°Hue y una vez puestos en condiciones de simulación de mercadeo este valor fue descendiendo a valores de 39°Hue en promedio para los tres tratamientos al

final del estudio. Un comportamiento similar a través del tiempo de almacenamiento a 20°C fue observado por Fabi et al (2007), en frutos de papaya 'Golden'. Frutos sin tratar (testigo) mostraron un valor de 49°Hue después de 10 días de almacenamiento mientras los tratados con etileno o Etileno+1-MCP tuvieron valores de 45 y 52°Hue respectivamente en el mismo lapso. Valores más bajos de °Hue se relacionan con frutos de coloración de pulpa más anaranjada.

Los valores de cromaticidad o pureza de color de la pulpa descendieron conforme transcurrieron los días de simulación de mercadeo. Al iniciar el almacenamiento en simulación de mercadeo, los frutos testigo poseían valores de 32, con un descenso a valores de 31 en el último día del estudio. El tratamiento con etileno presentaba valores de 36 hasta llegar a un valor de 28 mientras que el tratamiento Etileno+1-MCP presentó un valor de 37 al iniciar mercadeo para descender a 31. En base a lo anterior, el tratamiento con 1-MCP no tuvo un efecto significativo en el valor de cromaticidad de la pulpa, en comparación con el testigo y el gaseado solo con la hormona.

Al salir del almacenamiento en frío y entrar a condiciones de simulación de mercadeo, los tratamientos testigo, etileno y Etileno+1-MCP presentaban valores de luminosidad de 56, 52 y 55; al finalizar estos valores de luminosidad descendieron a valores de 53, 49 y 50. La luminosidad presentada en cada tratamiento representa colores claros.

Los tres tratamientos presentaban valores similares, cabe mencionar que tal resultado es de gran interés ya que se puede afirmar que el tratamiento Etileno+1-MCP no perjudica el color interno de la pulpa de la fruta por lo tanto no afecta la calidad visual (Sañudo y Báez, 2014).

Calidad Química

Sólidos Solubles Totales

El análisis de varianza para los sólidos solubles, reportados como °Brix, no muestra diferencia en los días de simulación de mercadeo ($P=0.830$) pero si fue estadísticamente diferentes entre tratamientos ($P=0.002$) (Anexo 10a).

El comportamiento mostrado por los tratamientos fue similar durante los 5 días de almacenamiento a 20°C sin cambios significativos a través del tiempo. En este periodo sobresalen los frutos testigo con un contenido de 11.31 °Brix al inicio de dicho lapso con una ligera disminución hasta 10.95 el último día de análisis. Los frutos tratados con etileno mantuvieron valores entre 9.87 y 10.38 °Brix durante la simulación de mercadeo mientras que los frutos tratados con etileno+1-MCP mantuvieron valores ligeramente menores sin cambios significativos con valores de 9.30 °Brix en el primer día y 9.87 °Bix al final de dicho período de evaluación (Figura 8).

Resultados similares son reportados por Manenoi, et al (2007) que indican que la aplicación de 1-MCP no tuvo cambios significativos un ligero efecto en la concentración de sólidos solubles totales de frutos de papaya.

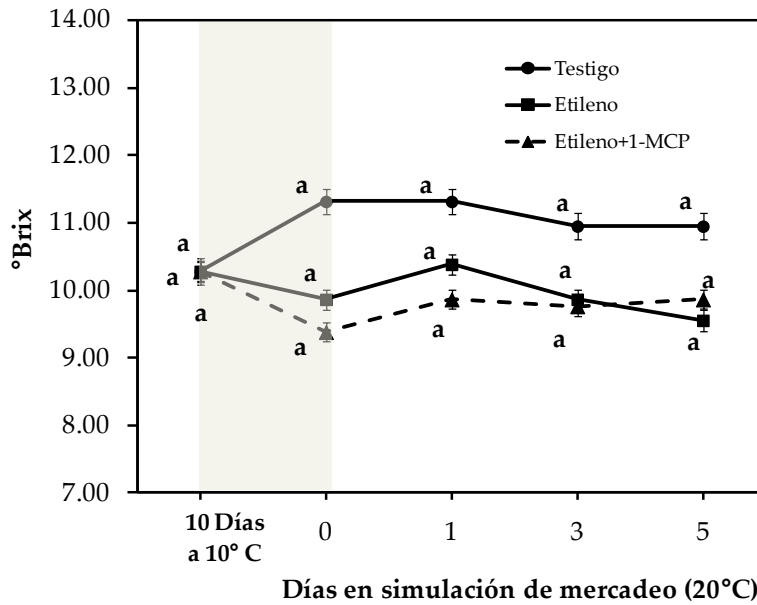


Figura 8. Sólidos solubles totales (°Brix) en papaya 'Maradol' tratada con etileno y 1-MCP y almacenada a 10 días a 10°C más 5 días a 20°C. Letras diferentes indican diferencia estadística. Las barras indican la desviación estándar.

La ligera disminución en el contenido de sólidos solubles al final del estudio en todos los tratamientos, es debido al gasto de sustrato ocasionado por el proceso de respiración de la fruta. Este patrón de respuesta también fue reportado en papaya 'Golden' durante su maduración por Manenoi et al., (2007) y Jacomino et al., (2002), que mencionan no haber encontrado influencia de 1-MCP en el contenido de SST cuando se aplica en papaya en la etapa de madurez verde y maduro. En general, las respuestas del 1-MCP en el contenido de sólidos solubles totales en papaya se pueden producir de manera diferente, lo cual dependerá de la variedad, la etapa de maduración de la fruta y el tipo de almacenamiento al que se vea expuesto (Watkins et al., 2000).

Acidez Titulable y pH

El análisis de varianza para el porcentaje de acidez titulable se reporta en el Anexo 11a. Se observa que no hubo diferencia significativa entre tratamientos ($P=0.066$),

pero los días de simulación de mercadeo fueron significativamente diferentes ($P=0.000$). En el caso de la variable pH, el ANOVA se muestra en el Anexo 12a, donde se observa que solo se obtuvo diferencia estadística en los días de simulación de mercadeo ($P=0.000$).

El contenido de acidez titulable, mayormente ácido málico, muestra concentraciones de 0.13% en los frutos tratados con etileno y Etileno+1-MCP y de 0.11% en los frutos testigo después de 10 días a 10°C. Posterior a dicho período, el primer día de simulación mercadeo a 20°C la acidez disminuyó a valores de 0.08% en todos los tratamientos con pequeñas variaciones durante todo el período de almacenamiento a 20°C (Figura 9A).

Como se menciona en el párrafo anterior, los frutos de papaya no se caracterizan por mostrar alto contenido de ácidos orgánicos por lo cual tienden a presentar valores de pH cercanos al neutro. Después de 10 días en frío, las papayas de todos los tratamientos mostraban valores de pH entre 5.5 y 5.6 incrementando el primer día de simulación mercadeo a valores de alrededor de 5.9 (Figura 9B). Yang (1995), reporta que la relación entre pH y acidez titulable es inversa ya que conforme la acidez aumenta el pH disminuye, mismo comportamiento obtenido en este estudio (Figura 9).

Resultados similares fueron reportados por Sañudo et al. (2008), en papayas tratadas con 1-MCP y 1-MCP+etefón que aumentaron ligeramente su pH a valores de 5.9 a los 6 días de almacenamiento a 20°C.

Pinto et al. (2006), señalan que la disminución de la acidez de la fruta se debe probablemente a la reducción de la actividad metabólica durante el climaterio. En otros frutos tropicales como mango, Muy et al. (2009), encontraron que los frutos tratados con 1-MCP retuvieron la acidez en los días de almacenamiento a 20°C.

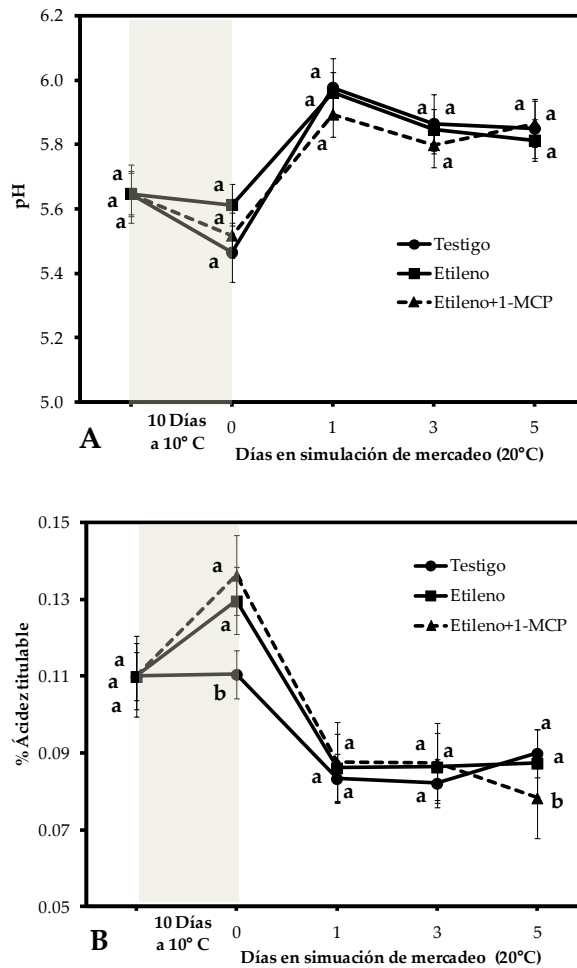


Figura 9. pH (A) y Acidez titulable (B) en papaya 'Maradol' tratada con etileno y 1-MCP y almacenada 10 días a 10°C más 5 días a 20°C. Letras iguales no muestran diferencias estadísticas.

En un estudio hecho en nectarina tratada con $5 \mu\text{l}\cdot\text{L}^{-1}$ de 1-MCP, la pérdida de acidez titulable fue inhibida en las variedades 'Almog' y 'April Glow', aunque el contenido de ácido en el cultivar 'Oded' no se vio afectado (Liguori et al., 2004).

Pérez (2003), reportó un incremento de la acidez titulable en frutos de papaya 'Maradol' tratados con 125 ppb de 1-MCP y lo asocia a la conversión de azúcares a ácidos orgánicos.

Azúcares Totales

El sabor es un atributo de calidad muy importante en el fruto de papaya y en la mayoría de los casos es utilizado con índice de madurez. En este estudio, el contenido de azúcares totales en los frutos no presentó diferencia significativa por efecto del tiempo de almacenamiento ($P=0.259$) o tratamientos ($P=0.082$) (Anexo 13a).

El tratamiento de Etileno+1-MCP mantuvo el contenido de azúcares, prácticamente sin cambios durante los 5 días de almacenamiento en simulación de mercadeo con valores promedio de 7%. Los frutos tratados solamente con la hormona mostraron la mayor concentración de azúcares con 8.89% en el día cero a 20°C disminuyendo en el día 3 a 6.7% y finalmente logra una concentración de 8% en el día 5. El tratamiento testigo tuvo un comportamiento similar al tratado con Etileno+1-MCP en los días en simulación de mercadeo con un promedio con 6.4% de azúcares totales (Figura 10).

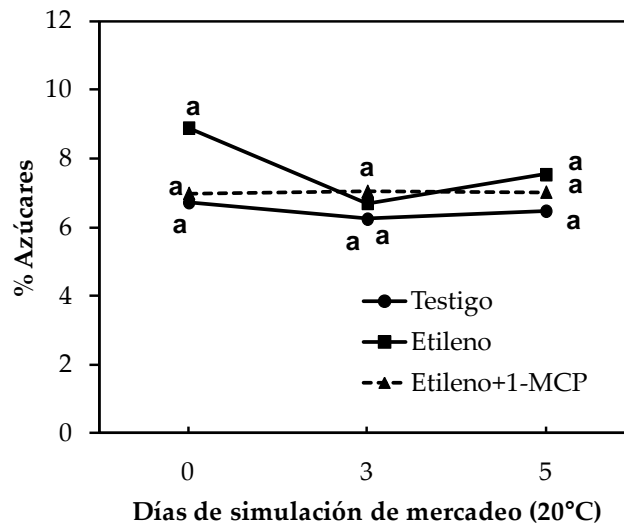


Figura 10. Azúcares totales (%) en papaya 'Maradol' tratada con etileno y 1-MCP bajo condiciones de simulación mercadeo (20°C) después de 10 días a 10°C. Letras iguales no muestran diferencias significativas.

Azúcares Individuales

Los cambios en concentración de glucosa, fructosa y sacarosa no fueron significativamente diferentes entre los tratamientos (valores $P= 0.469, 0.350$ y 0.561 , respectivamente) así como tampoco durante los 5 días de almacenamiento de los frutos en simulación de mercadeo a 20°C (Anexos 14, 15 y 16).

La concentración de glucosa y fructosa fueron similares en los tres tratamientos, sobresaliendo la glucosa como la de mayor contenido. Durante el almacenamiento en simulación de mercadeo, posterior a 10 días a 10°C , la concentración de glucosa mostró valores entre 3.10 y 4.63%, mientras que fructosa se mantuvo entre 2.77 y 4.33%. La sacarosa fue el azúcar de menor contenido en papaya con valores entre 0.07 y 1.52% en el periodo mencionado (Figura 11).

Analizando perfiles a través del tiempo de almacenamiento, en la Figura 11A se muestra la concentración de glucosa en los diferentes tratamientos, que si bien no hubo diferencia estadística entre tratamientos, los frutos tratados solamente con etileno presentaron una mayor concentración de glucosa en el día 0 con 4.63%, misma que descendió a 3.14% en el día 5. El tratamiento testigo presentó valores de 3.57% en el día 0 descendiendo a 3.31% en el último día, mientras que el tratamiento de Etileno+1-MCP mostró un ligero aumento de 3.39% en el día 0 a 3.42% en el día 5 de almacenamiento a 20°C .

La concentración de fructosa se muestra en la Figura 11B, en la cual se observa que el tratamiento de solamente etileno presentó la mayor concentración en el día 0 con 4.33% descendiendo a 2.88% en el día 5 de almacenamiento a 20°C , seguido del tratamiento testigo con 3.11% y mostrando el mismo comportamiento del tratamiento etileno finalizando en los mismos valores. El tratamiento de Etileno+1-MCP tuvo un descenso de 3.07% en el día 0 a 2.99% en el día 5, siendo el tratamiento que presentó mayor concentración de fructosa en el último día de almacenamiento en simulación de mercadeo.

En la Figura 11C se muestran las concentraciones de sacarosa en los tres tratamientos a lo largo del almacenamiento en condiciones de simulación de mercadeo, donde se observa un ligero incremento en todos los tratamientos. Frutos de papaya tratadas con Etileno+1-MCP presentaron la mayor concentración de sacarosa en los primeros días, con 0.52% en día 0 y 0.96% en el día 3 para posteriormente descender a 0.65% al final del almacenamiento. El tratamiento de solamente etileno presentó valores más bajos durante los primeros días con 0.08 y 0.11%, y un aumento al final el almacenamiento con 1.52%. En el tratamiento testigo se observó un aumento de sacarosa en el día 3, al pasar de 0.07% a 0.37% y posteriormente descender en el día 5 a valores de 0.28%.

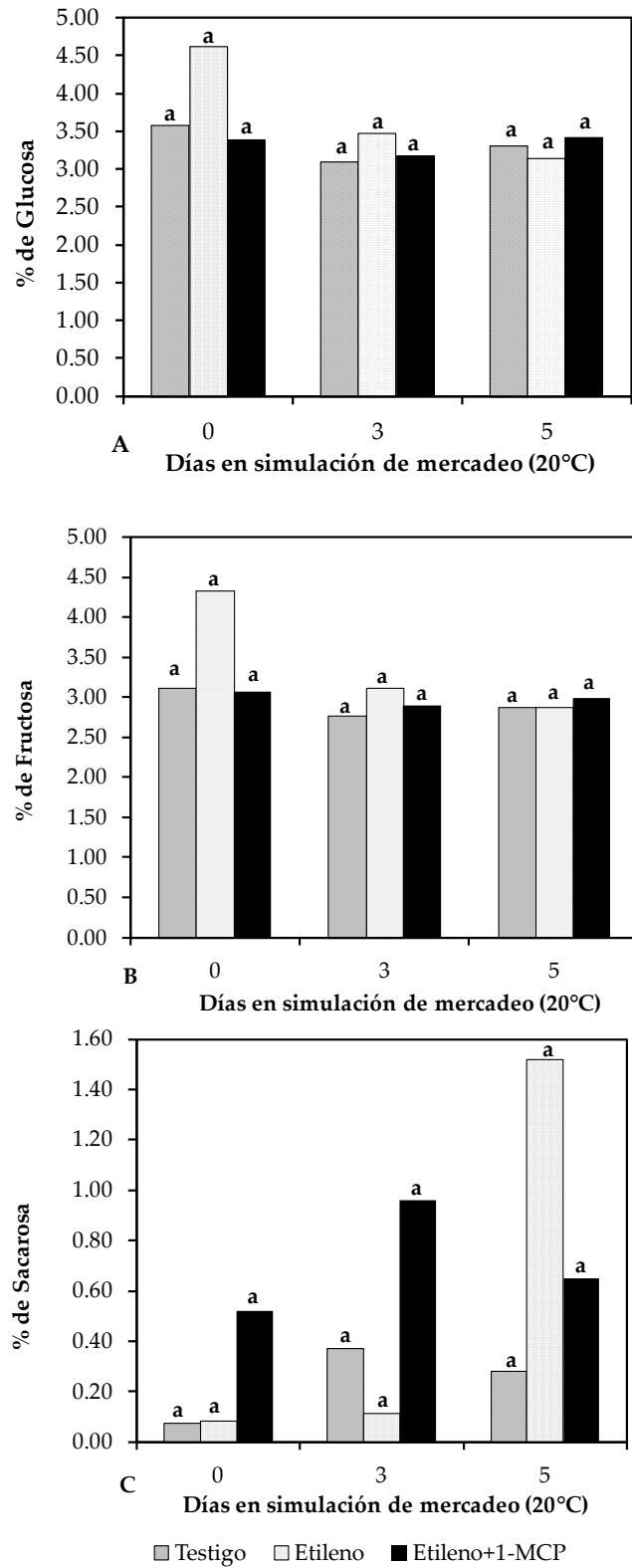


Figura 11. % de Glucosa (A), % de Fructosa (B) y % de Sacarosa (C) en papaya 'Maradol' tratada con etileno y 1-MCP bajo condiciones de simulación mercadeo (20°C) después de 10 días a 10°C. Letras iguales no muestran diferencias significativas.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Fabi et al. (2007), en frutos de papaya 'Golden', donde se obtuvo una acumulación persistente del contenido de los azúcares en el tratamiento con 1-MCP que al final poseía la cantidad similar al control. Solo se presentaron diferencias en el contenido de sacarosa, mostrándose un mayor contenido en la fruta tratada con 1-MCP, y un menor contenido en la fruta tratada con etileno.

Algunos autores señalan que la síntesis de sacarosa está influenciada por la maduración, y que debido a las pequeñas cantidades de almidón en la pulpa de la papaya no se podría explicar la acumulación de azúcares solubles durante el periodo poscosecha, aunque se especula que algunos mecanismos de desmontaje de la pared celular podrían proporcionar una fuente de carbono para la síntesis de azúcares durante la maduración, incluyendo sacarosa (Lazan et al., 1995; Paull et al., 1999).

De igual forma, es señalado que los perfiles similares de glucosa y fructosa en la poscosecha de papaya podrían ser una indicación de que provienen de la sacarosa acumulada, especialmente por la acción de la invertasa en las frutas completamente maduras. De hecho, el aumento de monosacáridos como glucosa y fructosa está asociado con la disminución en el contenido del disacárido sacarosa (Fabi et al., 2007). El aumento de los niveles de sacarosa en la fruta tratada con 1-MCP podría también estar de acuerdo con esta idea, ya que al suprimir la producción de la hormona se inhibe la actividad de la invertasa (Fabi et al., 2007). Esto concuerda con los resultados de nuestro estudio, en donde el tratamiento etileno presentó valores de glucosa y fructosa más altos y valores menores de sacarosa.

Ácidos Orgánicos

El contenido de ácido cítrico no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($P=0.339$) ni en los días de simulación de mercadeo ($P=0.055$) así como

tampoco el contenido de ácido málico fue diferente entre tratamientos ($P= 0.817$) y en los días de simulación de mercadeo ($P=0.087$) (Anexos 18a y 19a).

La concentración de ácido cítrico en los días de almacenamiento en simulación de mercadeo estuvo en el rangos de 0.158 y 0.092%, mientras que la concentración de ácido málico fue menor con valores en el rango de 0.044 y 0.022%. Como se muestra en la Figura 12, los cambios en el contenido de estos dos ácidos muestran una tendencia a disminuir durante el período de almacenamiento, atribuido a que los ácidos orgánicos sirven como sustratos en la respiración de las frutas y son degradados durante el ciclo de los ácidos tricarboxílicos (Wills, 1999).

En la Figura 12B se muestra la concentración de ácido cítrico durante el almacenamiento en simulación de mercadeo. El tratamiento Etileno+1-MCP presentó valores de ácido cítrico más altos durante los primeros días de 0.158% en el día 0 y 0.144% en el día 3 para posteriormente descender a 0.092% en el último día. El tratamiento de solamente etileno mostró en el día 0 valores de 0.150% y tuvo un descenso en el día 3 de 0.095% para volver a ascender a 0.131 al quinto día de permanecer los frutos en condiciones de simulación mercadeo. El tratamiento testigo presento los valores más bajos de este ácido iniciando con 0.108% en día 0 y 0.095% en el día 5.

La concentración de ácido málico durante el almacenamiento en condiciones de simulación de mercadeo se muestra en la Figura 12A, en la cual se observa que el tratamiento de etileno presentó la mayor concentración en el día 0 con 0.044%, descendiendo a 0.022% en el día 5. La concentración de ácido málico en frutos sin tratamiento (testigo) mostró valores de 0.037% al inicio y 0.029% al final del almacenamiento. En los frutos tratados con Etileno+1-MCP se observó una concentración de 0.035% de ácido málico durante los primeros 3 días de almacenamiento a 20°C y una disminución al final del estudio con un valor de 0.023%.

Resultados de Liu et al. (2016), en manzanas tratadas con 1 μ l de 1-MCP y almacenadas a 20°C, encontraron que la pérdida de los ácidos málico y cítrico se vio retrasada con la aplicación del 1-MCP, lo cual lo atribuyen a que dicho compuesto contribuye a la regulación del metabolismo de los ácidos orgánicos.

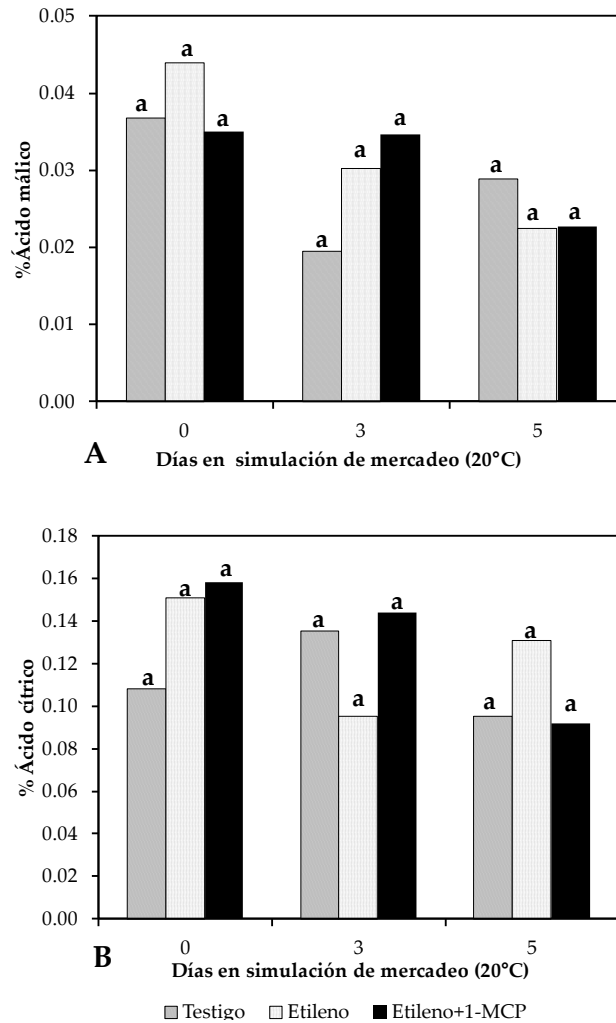


Figura 12. Contenido de ácidos málico (A) y ácido cítrico (B) en papaya 'Maradol' tratada con etileno y 1-MCP bajo condiciones de simulación mercadeo (20°C) después de 10 días a 10°C. Letras iguales no muestran diferencias estadísticas.

El ácido málico se ha considerado como un intermedio del ciclo de Krebs, y su síntesis y degradación está estrechamente vinculada al ciclo de los ácidos tricarbónicos (Ferne y Martinoia, 2009).

Calidad Fisiológica

Producción de CO₂ y Evolución de Etileno

La producción de dióxido de carbono por efecto de la respiración de los frutos de papaya mostró diferencia estadística entre tratamientos ($P= 0.000$) así como en los días de simulación de mercadeo ($P=0.013$) (Anexo 18a).

En general se observa que los frutos sin tratamiento mostraron la mayor producción de CO₂ durante el estudio. En el día 1 de permanecer los frutos en simulación mercadeo a 20°C, después de 10 días a 10°C, los frutos testigo tuvieron una producción de CO₂ alrededor de 35 ml de CO₂/kg-h seguido de los frutos tratados con etileno y Etileno+1-MCP con valores de 16 y 8 ml de CO₂/kg-h respectivamente. Para después descender en el día 2, y ascender durante los días siguientes. El tratamiento de etileno mostró un comportamiento estable durante los primeros cuatro días con un ascenso al quinto día a valores de 26 ml de CO₂/kg-h al igual que los frutos testigo en este mismo día. La menor producción de CO₂ fue mostrada por los frutos tratados con etileno+1-MCP con valores promedio alrededor de 15 ml de CO₂/kg-h durante todo el periodo de evaluación, sin mostrar un aumento en su patrón de respiración característico de frutos climatéricos como la papaya (Figura 13).

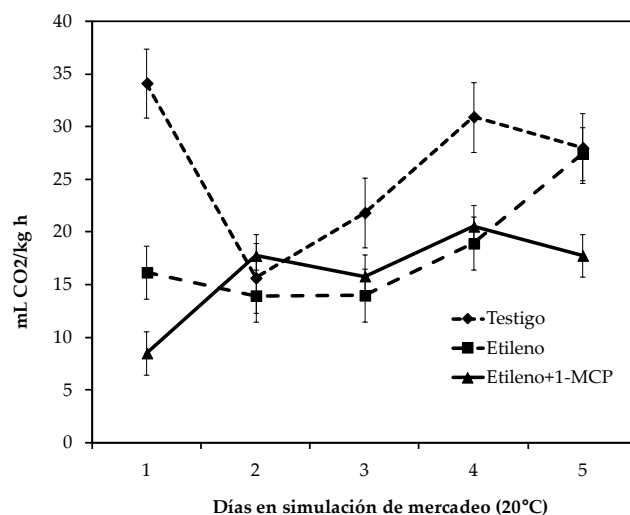


Figura 13. Respiración de frutos de papaya 'Maradol' tratada con etileno y 1-MCP bajo condiciones de simulación mercadeo (20°C) después de 10 días a 10°C. Letras iguales indican que no hay diferencia estadística.

La papaya es un fruto climatérico clasificado de acuerdo a su tasa respiratoria como de baja producción de CO₂ con valores entre 15 y 35 ml de CO₂/kg h durante el almacenamiento a 20°C. Los valores obtenidos en nuestro estudio se encuentran dentro del rango de producción de CO₂ mencionado por Kader (2007).

Souza et al. (2009), reportan en frutos de papaya 'Golden' tratados con 50 ppb de 1-MCP una reducción de la tasa respiratoria y producción de etileno, a diferencia de la fruta no tratada en donde la respiración y la producción de etileno fueron significativamente más altos.

La producción de la hormona (datos no mostrados) solo se presentó en el tratamiento de Etileno+1-MCP en los días 2 y 4 de almacenamiento a 20°C. Resultado similar fue reportado por Pelayo et al. (2003), en plátanos donde la tasa de respiración fue menor en frutos tratados con 1-MCP pero la producción de etileno fue significativamente mayor en comparación con los frutos sin tratamiento (testigo).

Caso contrario, el estudio reportado por Zhu et al. (2015), muestra que el compuesto 1-MCP retrasó significativamente la tasa de respiración y la producción de etileno inhibiendo la aparición del pico climatérico en frutos de plátano.

Golding et al. (1999), indican que el 1-MCP puede bloquear la regulación por retroalimentación normal de la producción de etileno y, presumiblemente, la transcripción de ACC sintasa puede ser mejorada o la síntesis de su ACC sustrato puede prevenirse.

Los atributos de interés en la fruta de papaya, firmeza, sabor y color, fueron conservados en los frutos del tratamiento Etileno+1-MCP a lo largo del periodo en simulación de mercadeo (20°C). Hasta los últimos días de almacenamiento (3-5 días) la fruta tratada presentaba las mismas concentraciones de azúcares totales, con un color característico y con la firmeza de consumo deseada.

CONCLUSIONES

- La concentración de 50 ppb de 1-MCP permitió mantener la calidad de comercialización por 2 días (>20 N) y la calidad de consumo por 3 días (<20 N).
- Los frutos tratados con Etileno y 50 ppb 1-MCP presentaron valores de calidad en firmeza y color aptos para consumo.
- Los frutos tratados con Etileno y 50 ppb de 1-MCP redujeron la tasa respiratoria durante el almacenamiento en condiciones de simulación de mercadeo así como la producción de etileno.
- Los frutos tratados con Etileno y 50 ppb 1-MCP presentaron valores de calidad en sólidos solubles totales, % acidez titulable, y pH aptos para consumo.
- La concentración de 50 ppb de 1-MCP permitió acumulación de glucosa, fructosa y ácidos orgánicos, conservando la calidad de sabor en el fruto.

RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo este estudio a nivel productivo, para observar el comportamiento de la fruta de papaya 'Maradol' expuesta con 100 ppm etileno y 50 ppb de 1-MCP, bajo las condiciones con las que cuentan los productores y hacer los ajustes necesarios para el adecuado uso de la técnica de gaseo.

REFERENCIAS

- 2000 Agro. 2012. Disponible en: <http://www.2000agro.com.mx/>. Fecha de consulta: 10-04-2015.
- A.O.A.C. 1998. Official Methods of Analysis. 16th Edition. Washington, D C; Association of Oficial Anaytical Chemist.
- Adkins M F; Hofman P J; Stubbings B A; Macnish A J. 2004. Manipulating avocado fruit ripening with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*. 35: 33-42 pp.
- Alexieva V; Sergiev I; Todorova D; Karanov E; Smith A. 2004. Effect of ethylene and its antagonist 1-MCP on senescence of detached leaves of *Arabidopsis thaliana*. *Biologic Plantarum*. 48(4): 593-595 pp.
- Almeida C A; Reis P J D; Santos S D; Vieira D O T; Da Costa O M. 2011. Estudio de la conservación de la papaya (*Carica papaya* L.) asociado a la aplicación de películas comestibles. *Revista venezolana de ciencias y tecnologías de alimentos*. 2 (1):049-060 pp.
- Alvarado H M; Siller C J; Báez S M; D Muy 2001. Control de la Maduración de Tomate Roma Mediante el Uso de Etileno y 1-MCP. XXXII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Puebla, México.
- Arora A; Paliyath G; Murr D; Handa A; Lurie S. 2008. Biochemistry of flower senescence. En: *Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers*. 51-85 pp.
- Arpaia M L; Kader A A. 1997. UCDAVIS, University of California. Available in: <http://postharvest.ucdavis.edu/PFfruits/Papaya/> Fecha de consulta: 4 Abril 2015.
- Ayoub J; Driver M; Kim H; Barret A; Taub I. 1976. Use of ethylene absorbers in extending produce shelf life.
- Báez M A; Siller J; Heredia B; Araiza E; García R; Muy M D. 1997. Fisiología poscosecha de frutos de chicozapote (*Achras sapota*, L.) durante condiciones de mercadeo. *Interamerican society for tropical horticulture*. 41:862-866 p.

- Bapat V A; Trivedi P K; Ghosh A; Sane V A; Ganapathi T R; Nath P. 2010. Ripening of Fleshy fruit: Molecular insight and the role of ethylene. *Biotechnology Advances*. 28:94-10 pp.
- Barry C; Giovannoni J. 2007. Ethylene and fruit ripening. *Journal Plant Growth Regulatory* 26: 143-159 pp.
- Belie De N; Schotte S; Coucke P; Baerdemaeker de J. 2000. Development of an automated monitoring device to quantify changes in firmness of apple during storage. *Postharvest Biology and Technology*. 18:1-8 pp.
- Binder B. 2008. The ethylene receptors: complex perception for a simple gas. *Plant Sci*. 175, 8-17. Doi: 10.1016/j.plantsci.2007.12.001.
- Blankenship S M; Dole J M. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*. 28:1-25 pp.
- Blankenship S. 2001. Ethylene effects on the benefit its of 1-MCP. *Perishable handling quarterly*. Nov. Issue No. 108. Postharvest Technology Research and Information Center, University of California, Davis.
- Bogantes A A; Mora N E; Umiña R. G.; Loria Q. C. 2010. Guía para la producción de papaya en Costa Rica. Costa Rica. 53 p.
- Bouzayen M; Latché A; Nath P; Pech J. 2010. Mechanism of fruit ripening. En: Pua, E. y M. Davey (eds.). *Plant developmental biology–bio- technological perspectives*. Springer Verlag, Berlín. 319-339 pp.
- Bradford K J. 2008. Shang Fa Yang: Pioneer in plant ethylene biochemistry. *Plant Science*. 175(1-2): 2-7 pp.
- Burton G W. 1982. *Postharvest physiology of food crops*. Editorial Longman. Primera edición. 181-192 pp.
- Cameron A C; Reid MS. 2001. 1-MCP blocks ethylene-induced petal abscission of *Pelargonium peltatum* but the effect is transient. *Postharvest Biology Technology*. 22:169– 177 pp.
- Cameron A; Reid M. 2001. 1-MCP blocks ethylene induced petal abscission of *Pelargonium peltatum* but the effect is transient. *Postharvest Biology and Technology*. 22:169-177 pp.
- Chen Y; Etheridge N; E. Schaler. 2005. Ethylene signal transduction. *Ann. Bot*. 95:901-915 pp.

- Chen J L; Wang Z F; Wu J H; Wang Q; Hu X S. 2007. Chemical compositional characterization of eight pear cultivars grown in China. *Food Chemistry*. 104: 268–275 pp.
- Chitarra M I; Chitarra A B. 2005. Pós-colheita de frutas y hortalizas fisiología e manuseio. Lavras: UFLA. Segunda edición. 785 p.
- Clayton M; Biasi W M; Suothwick, Mitcham E J. 2000. Retain affects maturity and ripening of “Bartlett”. *Journal American Society Horticultural Science*. 35(7):1294-99 pp.
- CRFG. 1998. California Rare Fruit Growers Inc., Fruit Facts, Volume 1.
- De La Cruz J M; Vela G G; García H S. 2003. Papaya postharvest operation. FAO. 1 p.
- De Martino G; Mencarelli F; Golding J B. 2007. Preliminary investigation into the un even ripening of banana (*Musa sp.*) peel. *N. Z. Journal of Crop and Horticultural Science*. 35: 193–199 pp.
- De Oliveira Neto O. do; C. de Melo Silva S. 2003. Mudanças nas clorofilas e carotenóides total is de banana “prata” tratada con 1-Metilciclopropeno e atmosfera modificada. *Proc. ISTH 47*. 122–124 pp.
- Díaz C. 2003. Conservación de papaya Maradol roja (*Caricaceae*) utilizando encerado. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Díaz-Pérez J C; Araiza E. 1997. Changes in transpiration rate and skin permeance as affected by storage and stage tomato fruit ripeness. 7th International controlled atmosphere research conference. University California Davis. USA
- Ding P; Swee B N. 2008. Effects of 1-methylcyclopropene on the postharvest life of Eksotika papaya. *Journal of Applied Horticulture*. 10(2): 123-128 pp.
- Dussan S; Serna L; Perengüez A. 2011. Efecto de la aplicación de 1-Metilciclopropeno sobre algunas propiedades físico-químicas y organolépticas del fruto de la granadilla. *Acta Agronómica*. 60(3): 237-244 pp.
- Fabi J P; Cordenunsi B R; Mattos B G; Mercadante A Z; Lajolo F M; Oliviera J R. 2007. Papaya Fruit Ripening: Response to Ethylene and 1-Methylcyclopropene (1-MCP). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55:6118–6123 pp.
- FAO. 2010. 1-Methylcyclopropene. FAO specifications and evaluations for agricultural pesticides. 26 p.
- FAOSTAT.2013. Disponible en: <http://faostat.fao.org/>. Fecha consultada: 10-04-2015
- Fernie A R; Martinoia E. 2009. Malate. Jack of all trades or master of a few *Phytochemistry*. 70:828–832 pp.

- Fonseca M J; Censi S A; Leal N R; Botrel N. 2003. Uso de atmosfera modificada para conservar papaya 'Golden'. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 25(3):537-539 pp.
- Ghanta P K; Dhua, R S; Mitra S K. 1994. Studies of fruit growth and development of papaya cv. Washington. *Indian Journal of Horticulture*. 51: 246-250 pp.
- Gil A M; Duarte I F; Delgadillo I; Colquhoun I J; Casuscelli F; Humpfer E; Spraul M. 2000. Study of the compositional changes of mango during ripening by use of nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48:1524-1536 pp.
- Golding J; Shearer D; McGlasson W; Wyllie S. 1999. Relationships between respiration, ethylene, and aroma production in ripening banana. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47:1646-1651 pp.
- Hernandez Y; Lobo M G; Gonzalez M. (2009). Factors affecting sample extraction in the liquid chromatographic determination of organic acids in papaya and pineapple. *Food Chemistry*. 114:734-741pp.
- Hofman P J; Decor M J; Meiburg G F. 2001. Ripening and quality responses of avocado, cirst apple, mango y papaya fruit to 1-MCP. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41:567-572 pp.
- Hubert, D. 2008. Suppression of ethylene responses through application of 1-methylcyclopropene: a powerful tool for elucidating ripening and senescence mechanisms in climacteric and nonclimacteric fruits and vegetables. *Horticultural Science*. 43(1): 106-111 pp.
- In B C; Strable J; Binder B M; Falbel T G; Patterson S E. 2013. Morphological and molecular characterization of ethylene binding inhibition in caARNtions. *Postharvest Biology and Technology*. 86: 272-279 pp.
- Jacomino A P; Kluge R A; Brackmann A. 2002. Ripening and senescence of papaya with 1-Methylcyclopropene. *Scientia Agricola*. 59: 303-308 pp.
- Jiang Y; Joyce D. 2003. Softening response of 1-methylcyclopropene-treated banana fruit to highoxygen atmospheres. *Plant Growth Regulation*. 41: 225-229 pp.
- Jiang, Y; Fu J. 2000. Ethylene regulation of fruit ripening: Molecular aspects. *Plant Growth Regulatory*. 30: 193-200 pp.
- Jiang Y; Joyce D C; Terry L A. 2001. 1-Metilcilcoporpeno treatment affects strawberry fruit decay. *Postharvest Biology and Technology*. 23:227-232 pp.

- Kader A A, Sommer N F, Arpaia M L. 2002. Sistemas de Manejo Poscosecha: Frutas Tropicales. En Kader A A. Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas. California: Universidad de Agricultura y Recursos Naturales. 358-398 pp.
- Kader A A; Sommer N F; Arpaia M L. 2007. Sistemas de Manejo Poscosecha: Frutas Tropicales. En Kader A A, editor Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas. California: Universidad de Agricultura y Recursos Naturales. 431-445 pp.
- Kader A A. 2010. Department of plant sciences. University of California, Davis, CA 95616. Available in <http://postharvest.ucdavis.edu/>. Last update: 13-04- 2015.
- Kader A A; Yahia E M. 2011. Postharvest biology of tropical and subtropical fruits, in: Yahia, E.M. (Ed.), Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Woodhead Publishing. 79–111 pp.
- Kesari R.; Trivedi P; Nath P. 2007. Ethylene induced ripening in banana evokes expression of defense and stress related genes in fruit tissue. Postharvest Biology Technology. 46:136-143 pp.
- Klee H; Tieman D. 2002. The tomato ethylene receptor gene family: Form and function. Physiol Plant. 115:336-41 pp.
- Lancaster J E; Lister C E; Read P F; Triggs C M. 1997. Influence of pigment composition on skin color in a wide range of fruit and vegetables. Journal of the American Society for Horticultural Science. 594-598 pp.
- Liu R; Wang Y; Qin G; Tian S. 2016. Molecular basis of 1-methylcyclopropene regulating organic acid metabolism in apple fruit during storage. Postharvest Biology and Technology. 57–63 pp.
- Lazan H; Selamat M K; Ali Z M. 1995. β -Galactosidasepolygalacturonase and pectinesterase in differential softening and cell wall modification during papaya fruit ripening. Plant Physiology. 95:106-112 pp.
- Liguori G; Weksler A; Zutahi Y; Lurie S; Kosto I. 2004. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of melting flesh peaches and nectarines. Postharvest Biology and Technology. 31:263–268 pp.
- Lurie S; G Paliyath. 2008. Enhancing postharvest shelf life and quality in horticultural commodities using 1-MCP technology. En: Paliyath G, D Murr, A Handa y S Lurie. 2008. Postharvest Biology and Technology of fruits, vegetables, and flowers. Ed: Wiley-Blackwell Publishing. 139-162 pp.

- Mahajan B; K Singh; W Dhillon. 2010. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on storage life and quality of pear fruits. *Journal Food Science Technology*. 47(3): 351–354 pp.
- Manenoi A; Thumdee S; Paull R E. 2007. Activity of papaya fruit hydrolases during natural softening and modified softening. *Postharvest Biology and Technology*. 740:317-322 pp.
- Martínez-Romero D; Bailén G; Serrano M; Guillén F; Valverde J M; Zapata P; Castillo S; Valero D. 2007. Tools to Maintain Postharvest Fruit and Vegetable Quality through the inhibition of ethylene action: A Review. *Food Science Nutrition*. 47: 543–560 pp.
- Ming R; Moore P. 2014. Genetics and Genomics of papaya. *Papaya (Carica papaya L.): origin, domestication, and production*. 3-6 pp.
- Minolta. 2007. Precise color communication. Color control from perception to instrumentation.
- Muy R D; Espinoza V B; Siller C J; Sañudo B A; Valdez T J; Osuna E T. 2009. Efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y de una película comestible sobre la actividad enzimática y calidad poscosecha del mango 'Ataulfo'. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 32(1):53-60 pp.
- Mitra S. 1997. Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits. Editorial CAB International. 167 p.
- Moing A; Svanella L; Rolin D; Gaudillere M; Gaudillère J P; Monet R. 1998. Compositional changes during the fruit development of two peach cultivars differing in juice acidity. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 123: 770–775 pp.
- Moradinezhad F; Sedgley M; Klieber A; Able A. 2008. Variability of responses to 1-methylcyclopropene by banana: influence of time of year at harvest and fruit position in the bunch. *Annals Applied Biology*. 152:223–234 pp.
- Nanthachai N; Ratanachinakorn B; Kosittrakun M; Beaudry R. 2007. Absorption of 1-MCP by fresh produce. *Postharvest Biology and Technology*. 43: 291–297 pp.
- Ohene A E; Sefa D S. 2002. Textural and microstructural changes associated with postharvest hardening of trifoliateyam (*Dioscorea dumetorum*) pax tuber. *Food Chemistry*. 77:279-284 pp.
- OIRSA. 2002. Manual técnico: Buenas prácticas agrícolas en papaya. El Salvador. Organismo internacional regional de sanidad agropecuaria. OIRSA/VIFINEX. 58 p.

- Osuna G J A; Pérez B M H; Vázquez-Valdivia V; Urías-López M A. 2009. Alternativa comercial para extender la vida de anaquel de papaya 'Maradol'. Revista Chapingo Serie Horticultura. 15 (2): 199-204 pp.
- Osuna G J; Beltran J A; Vazquez V V. 2005. Efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP) sobre el comportamiento poscosecha del aguacate 'Hass'. Revista Fitotecnia Mexicana. 28(1): 1-8 pp.
- Páez A. 2003. Tecnologías sostenibles para el manejo de la antracnosis en papaya y mango. CORPOICA. Turipaná, Colombia. 16 p.
- Pal D K; Selvaraj Y. 1987. Biochemistry of papaya (*Carica papaya* L.) fruit ripening: changes in RNA, DNA, protein and enzyme of mitochondrial, carbohydrate, respiratory and phosphate metabolism. Journal of Horticultural Science. 62:117-124 pp.
- Park Y-M. 2012. 1-MCP application for horticultural commodities in Korea: Practical potential and future task. Horticulture Environment and Biotechnology. 53: 441-446 pp.
- Parle M, Gurditta. 2011. Basketful benefits of papaya. International Research Journal of Pharmacy. 2(7): 6-12 pp.
- Pathak N; Asif M; Dhawan P; Srivastava M; Nath P. 2003. Expression and activities of ethylene biosynthesis enzymes during ripening of banana fruits and effect of 1-MCP treatment. Plant Growth Regulation. 40: 11-19 pp.
- Paul V; Pandey R. 2013. Delaying tomato fruit ripening by using 1-Methylcyclopropene (1-MCP) for better postharvest management: current status and prospects in India. Plant Physiology. 18, 195-207 pp.
- Paull R E. 1993. Pineapple and papaya. In: Seymour, G B, Taylor, J E y Tucker, G A. Biochemistry of fruit Ripening. 291-323 pp.
- Paull R E; Gross K; Qiu Y X. 1999. Changes in papaya cell walls during fruit ripening. Postharvest Biol. Technol. 16: 79- 89 pp.
- Paull R E; Nishijima W; Reyes M; Cavaletto C. 1997. Postharvest handling and losses during marketing of papaya (*Carica papaya* L.). Postharvest Biology and Technology. 11:165-179 pp.
- Paull R E. 1996. Ethylene, storage and ripening temperatures affect Dwarf Brazilian banana finger drop. Postharvest biology and technology. 8:65-74 pp.
- Pelayo C; Vilas-Boas E V d.B; Benichou M; Kader A A. 2003. Variability in responses of partially ripe bananas to 1-methylcyclopropene. Postharvest Biology Technology 28:75-85 pp.

- Pérez L O L. 2003. Calidad nutrimental de papaya 'Maradol' tratada con 1-Metilciclopropeno. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Unidad Culiacán. México. 156 p.
- Pérez A G; Olías R; Espada J; Olías J M; Sanz C. 1997. Rapid determination of sugars, nonvolatile acids, and ascorbic acid in strawberry and other fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45: 3545-3549 pp.
- Prasanna V; Prabha T N; Tharanatha R N. 2007. Fruit ripening phenomena An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* . 47: 1-19 pp.
- Productos alimenticios no industrializados para consumo humano fruta fresca - papaya (*Carica papaya* L.). Diario Oficial de la Federación. NMX-FF-041-SCFI-2007. México, D.F. 13 p.
- Propapaya. 2012. Disponible en: <http://propapaya.org/>. Fecha consultada: 10-04- 2015.
- Propapaya. 2014. Disponible en: <http://www.propapaya.org/>. Fecha de consultada: 10-04- 2015.
- Reid M; Staby G. 2008. A Brief History of 1-Methylcyclopropene. *Horticultural Science*. 43(1): 83-85 pp.
- Riviera-Pastrana D M; Tahia E M; González-Aguilar A G. 2010. Phenolic and carotenoid profiles of papaya fruit (*Carica papaya* L.) and their contents under low temperature storage. *Journal of the science of food and agriculture*. 90(14): 2358-2365 pp.
- Robledo L M. 2003. Caracterización del sistema de producción de papaya en la región Caribe colombiana. En: Páez, A. Memorias, Seminarios participativos "Agronomía y manejo de la producción y poscosecha en papaya". Valledupar, Colombia.
- Rodríguez P M; Galán S V. 1995. Técnicas del cultivo de papaya (*Carica papaya* L.) en Canarias. Consejería de agricultura y alimentación. Gobierno de Canarias. Segunda edición. 15 p.
- Sadka A; Dahan E; Cohen L; Marsh K B. 2000. Aconitase activity and expression during the development of lemon fruit. *Physiol. Plant*. 108: 255-262 pp.
- SAGARPA. 2009. http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/PAPAYA2009.pdf. Fecha consulta: 20-04-2015.
- Salisbury F B; Ross C W. 1994. Fisiología vegetal. Primera edición. Editorial Iberoamérica. México D.F. Pág. 411-421p p.

- Salisbury F B; Ross C W. 2000. Fisiológica de las plantas 2. Bioquímica vegetal. Respiración. Paraninfo, S. A. España. 305 p.
- Sams C E. 1999. Preharvest factors affecting postharvest textura. *Postharvest Biology and Technology*. 15:249-254 pp.
- Santamaría B F. 2009. Postharvest ripening and maturity indices for 'Maradol' papaya. *INTERCIENCIA*. 34 (8): 583-588 pp.
- Santamaría B F; Días P R; Sauri D E; Espadas G F; Santamaría F J; Larqué S. A. 2009. Características de calidad de fruto de papaya 'Maradol' en la madurez de consumo. *Agricultura Técnica en México*. 35 (3): 347-353 pp.
- Sañudo B J A; Siller C J; Osuna E T; Muy R D; López A G; Labavitch J. 2008. Control de la maduración en frutos de papaya (*Carica papaya* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31 (2): 141-147 pp.
- Selvaraj Y; Pal D K. 1982. Changes in the chemical composition of papaya (Thailand variety) during growth and development. *Journal of food science and technology*. 19: 257-259 pp.
- Semillas del Caribe. 2009. Especialistas en papaya. Sensation. Disponible en: http://www.semilladelcaribe.com.mx/sc/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=11. Fecha consultada: 11-04- 2015.
- Serek M; Woltering E J; Sisler E C; Frello S; Sris-kandarajah S. 2006. Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. *Biotechnology Advances*. 24: 368-381 pp.
- Sherman M. 1985. Control of ethylene in the postharvest environmental Horticultural Science. 20(1): 130-134 pp.
- SIAP. 2014. Servicio de Información Agroalimentaria. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. Fecha Consultada: 28-09-2015.
- Sisler E C; Blankenship S M. 1993. Effect of diazocyclopentadiene on tomato ripening. *Plant Growth Regular*. 12:155-60 pp.
- Supapvanich S; Tucker G. 2011. The Effect of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on quality and cell wall hydrolases activities of fresh-Cut musk melon (*Cucumis melo var. reticulatus* L.) during storage. *Food Bioprocess Technol*. 6 p.
- Serek M; Sisler E; Reid M. 1995. Effects of 1-MCP on the base life and ethylene response of cut flowers. *Plant Growth Regulation*. 16: 93-91 pp.
- Sisler E C; Serek M. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments. *Physiol. Plant*. 100: 577-582 pp.

- Sisler E; Serek M. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments. *Physiol. Plant.* 100, 577-582. Doi: 10.1111/j.1399-3054.1997.tb03063.
- Sisler E; Dupille E; Serek M. 1996. Effect of 1-Methylcyclopropene and methylene cyclopropane on ethylene binding and ethylene action on cuticular transpiration. *Plant Growth Regulation.* 18: 79-86.
- Taiz L; Zeiger E. 2010. *Fisiología de las plantas*. Quinta edición. Editorial Sunderland, Massachusetts U.S.A.
- Teixeira D S; Rashid Z; Tan N D; Sivakumar D; Gera A; Teixeira S M; Tennant P T. 2007. *Papaya (Carica papaya L.) biology and biotechnology*. Global science books. 52 p.
- Thompson A K. 2011. Banana (*Musa* spp.), in: Yahia, E.M. (Ed.), *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 216–244 pp.
- Thumdee S; Manenoi A; Chen N; Paull R. 2010. Papaya fruit softening: role of hydrolases. *Tropical Plant Biology.* 3: 98–109 pp.
- Thumdee S; Manenoi A; Paull R E. 2007. Activity of papaya fruit hydrolases during natural softening and modified softening. *Acta Horticulturae.* 740:317-322 p.
- Tian M; Prakash S; Elgar H; Young H; Burmeister D; Ross G. 2000. Responses of strawberry fruit to 1-Methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene. *Plant Growth Regulation.* 32: 83–90 pp.
- Urbano B; Jacomino A P; Pinheiro A L. 2006. Influence of ripening stage on physical and chemical attributes of 'Golden' papaya fruit treated with 1-Methylcyclopropene. *Instituto Agronómico, Centro de Pesquisa Tecnológica y Agronegocios de Engenharia.* 553-555 pp.
- USDA. 2015. Composition of food, raw, processed and prepared. National nutrient database for standard reference, release 28. Available in: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2305?fgcd=&manu=&format=&offset=&sort=>. Fecha consulta: 15-04-16.
- USDA. U.S. Department of Agriculture. 2009. Agricultural research service. National nutrient data base for standard reference. Available in: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>. Last update: 15-04-2015.
- Valero D; Martínez-Romero D; Valverde J, Guillén F, Castillo S; M Serrano. 2004. Could the 1-MCP treatment effectiveness in plum be affected by packaging?. *Postharvest Biology and Technology.* 34: 295–303 pp.

- Varanasi V; Shin S; Johnson F; Mattheis J P; Zhu Y. 2013. Differential suppression of ethylene biosynthesis and receptor genes in “Golden Delicious” apple by preharvest and postharvest 1-MCP treatments. *Journal of Plant Growth Regulatory*. 32: 585–595 pp.
- Varanasi V; Shin S; Johnson F; Mattheis J; Zhu Y. 2013. Differential suppression of ethylene biosynthesis and receptor genes in ‘Golden Delicious’ apple by preharvest and postharvest 1-MCP treatments. *Journal of Plant Growth Regulation*. 32:585-595 pp.
- Watkins C B. 2006. The use of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology. Adv., Ethylene biology: A tribute to Edward C. Sisler*. 24: 389–409 pp.
- Wills R B; Widjanarko S B. 1995. Changes in physiology, composition and sensory characteristics of Australian papaya during ripening. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 35:1173-1176 pp.
- Wills R; Warton M. 2004. Efficacy of potassium permanganate impregnated into alumina beads to reduce atmospheric ethylene. *Journal American Society Horticultural Science*. 129(3): 433-438 pp.
- Wills R; McGlasson B; Graham D; Joyce D. 1998. Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y ornamentales. 2da Edición. Zaragoza: Ed. ACRIBIA, S. A. 240 p.
- Wills R; McGlasson B; Graham D; Joyce D. 1998. Postharvest. An introduction to the physiology & handling on fruit, vegetables & ornamental. 4ta Edición. 45 p.
- Workneh T S; Azene M; Tesfay S Z. 2012. A review on the integrated agrotechnology of papaya fruit. *African Journal of Biotechnology*. 11(85):15098-15110 pp.
- Yang S F. 1985. Biosynthesis and action of ethylene. *Horticultural Science*. 20(1):41 p.
- Yang X; Song J; Campbell-Palmer L; Fillmore S; Z Zhang. 2013. Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 78:55-66 pp.
- Zhou L; Paull R. 2001. Sucrose metabolism during papaya (*Carica papaya*) fruit growth and ripening. *Journal American Society Horticultural Science*. 126(3):351–357 pp.

ANEXOS

Tablas de análisis de varianza para evaluaciones físicas en frutos de papaya.

1-. Análisis de varianza para firmeza: etapa 1.

1a.-General

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamiento	4	1363.3	340.81	7.48	0.001
Simulación de mercadeo	3	4001.4	1333.81	29.29	0.000
Tratamiento*Simulación de mercadeo	12	1055.4	87.95	1.93	0.093
Error	20	910.8	45.54		
Total	39	7330.9			

1b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
300 ppb	8	36.4406	A
200 ppb	8	36.0964	A
100 ppb	8	31.2323	A B
Testigo	8	23.8453	B
50 ppb	8	22.7619	B

1c.- Días en simulación de mercadeo

Simulacion de mercadeo	N	Mean	Grouping
-10	10	42.9187	A
0	10	33.0950	B
1	10	29.2237	B
3	10	15.0638	C

2-. Análisis de varianza para firmeza en simulación de mercadeo: etapa 2.

2a.- General

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamientos	2	802.7	401.34	9.08	0.003
Simulación de mercadeo	4	4558.5	1139.62	25.78	0.000
Tratamientos*Simulación de mercadeo	8	902.1	112.77	2.55	0.056
Error	15	663.0	44.20		
Total	29	6926.3			

2b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Etileno+1-MCP	10	31.7462	A
Testigo	10	21.2087	B
Etileno	10	20.3845	B

2c.- Días en simulación de mercadeo

Simulación de mercadeo	N	Mean	Grouping
-10	6	42.9188	A
0	6	32.7180	A B
1	6	23.9937	B C
3	6	12.7667	C D
5	6	9.8354	D

3.- Análisis de varianza para pérdida de peso en simulación de mercadeo

3a.- General

Source	DF	Adj SS	AdjMS	F-Value	P-Value
Tratamientos	2	1.164	0.5822	3.64	0.058
Días de Mercadeo	4	124.688	31.1720	194.85	0.000
Replica (Tratamientos)	3	4.912	1.6374	10.23	0.001
Tratamientos*Días de Mercadeo	8	0.512	0.0640	0.40	0.900
Error	12	1.920	0.1600		
Total	29	133.197			

3b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Testigo	10	3.89874	A
Etileno	10	3.52425	A
Etileno+1-MCP	10	3.44790	A

3c.- Días en simulación de mercadeo

Días en Mercadeo	N	Mean	Grouping
5	6	5.95320	A
3	6	5.02798	B
1	6	3.91884	C
0	6	3.21814	C
-10	6	-0.00000	D

4.- Análisis de varianza para color externo en simulación de mercadeo.

°Hue

4a.- General

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Días de Mercadeo	4	151.4	37.84	1.47	0.271
Tratamiento	2	492.7	246.34	9.59	0.003
Días de Mercadeo*Tratamiento	8	152.1	19.01	0.74	0.657
Replica (Tratamiento)	3	169.8	56.59	2.20	0.140
Error	12	308.2	25.68		
Total	29	1274.1			

4b.- Tratamiento

Tratamiento	N	Mean	Grouping
Testigo	10	103.377	A
Etileno+1-MCP	10	97.800	A B
Etileno	10	93.476	B

4c.- Días en simulación de mercadeo

Días de Mercadeo	N	Mean	Grouping
0	6	101.912	A
1	6	99.111	A
3	6	97.693	A
-10	6	97.246	A
5	6	95.125	A

5.- Análisis de varianza para color externo en simulación de mercadeo.

Cromaticidad

5a.- General

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Días de Mercadeo	4	28.74	7.186	0.35	0.840
Tratamiento	2	261.34	130.670	6.35	0.013
Días de Mercadeo*Tratamiento	8	108.41	13.552	0.66	0.718
Replica (Tratamiento)	3	115.61	38.536	1.87	0.188
Error	12	246.90	20.575		
Total	29	761.01			

5b.- Tratamiento

Tratamiento	N	Mean	Grouping
Etileno	10	28.8614	A
Etileno+1-MCP	10	28.0254	A
Testigo	10	22.2243	B

5c.- Días en simulación de mercadeo

Días en Mercadeo	N	Mean	Grouping
0	6	27.9148	A
3	6	26.7283	A
1	6	26.2883	A
5	6	26.0142	A
-10	6	24.9063	A

6.- Análisis de varianza para color externo en simulación de mercadeo.

Luminosidad

6a.- General

Source	DF	AdjSS	AdjMS	F-Value	P-Value
Días de Mercadeo	4	4.021	1.005	0.14	0.966
Tratamiento	2	61.532	30.766	4.16	0.042
Días de Mercadeo*Tratamiento	8	35.048	4.381	0.59	0.767
Replica (Tratamiento)	3	31.624	10.541	1.43	0.283
Error	12	88.670	7.389		
Total	29	220.895			

6b.- Tratamiento

Tratamiento	N	Mean	Grouping
Etileno	10	47.0674	A
Etileno+1-MCP	10	46.1169	A B
Testigo	10	43.6678	B

6c.- Días en simulación de mercadeo

Días de Mercadeo	N	Mean	Grouping
3	6	46.0245	A
5	6	45.8825	A
1	6	45.8276	A
-10	6	45.1901	A
0	6	45.1621	A

7.- Análisis de varianza para color interno en simulación de mercadeo.

°Hue

7a.- General

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Días de Mercadeo	4	493.05	123.262	10.62	0.000
Tratamientos	2	25.86	12.928	1.11	0.354
Días de Mercadeo*Tratamientos	8	45.66	5.708	0.49	0.844
Error	15	174.04	11.603		
Total	29	738.61			

7b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Etileno+1-MCP	10	47.2118	A
Etileno	10	45.2877	A
Testigo	10	45.2000	A

7c.- Días en simulación de mercadeo

Días de Mercadeo	N	Mean	Grouping
-10	6	51.0276	A
1	6	48.1056	A B
0	6	47.2001	A B
3	6	44.0375	B C
5	6	39.1282	C

8.- Análisis de varianza para color interno en simulación de mercadeo.

Cromaticidad

8a.- General

Source	DF	AdjSS	AdjMS	F-Value	P-Value
Días de Mercadeo	4	220.940	55.235	15.09	0.000
Tratamientos	2	4.274	2.137	0.58	0.570
Días de Mercadeo*Tratamientos	8	53.686	6.711	1.83	0.148
Error	15	54.906	3.660		
Total	29	333.806			

8b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Etileno+1-MCP	10	34.0314	A
Etileno	10	33.9248	A
Testigo	10	33.1827	A

8c.- Días en simulación de mercadeo

Días de Mercadeo	N	Mean	Grouping
-10	6	38.1236	A
3	6	34.3068	B
0	6	33.6364	B
1	6	32.8092	B C
5	6	29.6887	C

9.- Análisis de varianza para color interno en simulación de mercadeo.

Luminosidad

9a.- General

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Días de Mercadeo	4	438.01	109.502	13.49	0.000
Tratamientos	2	13.18	6.591	0.81	0.463
Días de Mercadeo*Tratamientos	8	68.06	8.507	1.05	0.445
Error	15	121.76	8.117		
Total	29	641.01			

9b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Etileno+1-MCP	10	51.5149	A
Testigo	10	51.1525	A
Etileno	10	49.9631	A

9c.- Días en simulación de mercadeo

Días de Mercadeo	N	Mean	Grouping
-10	6	55.7756	A
0	6	54.2100	A B
5	6	50.4209	B C
3	6	48.9191	C D
1	6	45.0586	D

Tablas de análisis de varianza para evaluaciones químicas en frutos de papaya.

10.- Análisis de varianza para SST en simulación de mercadeo.

10a.- General

Source	DF	AdjSS	AdjMS	F-Value	P-Value
Tratamientos	2	7.5005	3.7503	9.35	0.002
Días de Mercadeo	4	0.5836	0.1459	0.36	0.830
Tratamientos*Días de Mercadeo	8	2.5879	0.3235	0.81	0.607
Error	15	6.0133	0.4009		
Total	29	16.6853			

10b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Testigo	10	10.9628	A
Etileno	10	9.9907	B
Etileno+1-MCP	10	9.8315	B

10c.- Días en simulación de mercadeo

Días en Mercadeo	N	Mean	Grouping
1	6	10.5220	A
-10	6	10.2810	A
3	6	10.1938	A
0	6	10.1880	A
5	6	10.1235	A

11.- Análisis de varianza para %Acidez titulable en simulación de mercadeo.

11a.- General

Source	DF	Adj SS	AdjMS	F-Value	P-Value
Tratamientos	2	0.000284	0.000142	3.28	0.066
Días de Mercadeo	4	0.008745	0.002186	50.50	0.000
Tratamientos*Días de Mercadeo	8	0.000854	0.000107	2.46	0.063
Error	15	0.000649	0.000043		
Total	29	0.010533			

10b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Etileno+1-MCP	10	0.0999720	A
Etileno	10	0.0999385	A
Testigo	10	0.0934275	A

10c.- Días en simulación de mercadeo

Días en Mercadeo	N	Mean	Grouping
0	6	0.125515	A
-10	6	0.110000	B
1	6	0.085761	C
5	6	0.085276	C
3	6	0.082346	C

12.- Análisis de varianza para pH en simulación de mercadeo.

12a.- General

Source	DF	Adj SS	AdjMS	F-Value	P-Value
Tratamientos	2	0.005047	0.002523	0.51	0.609
Días de Mercadeo	4	0.669684	0.167421	33.98	0.000
Tratamientos*Días de Mercadeo	8	0.032931	0.004116	0.84	0.586
Error	15	0.073904	0.004927		
Total	29	0.781565			

12b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Etileno	10	5.77632	A
Testigo	10	5.76085	A
Etileno+1-MCP	10	5.74455	A

12c.- Días en simulación de mercadeo

Días en Mercadeo	N	Mean	Grouping
1	6	5.94433	A
5	6	5.84267	A
3	6	5.83700	A
-10	6	5.64725	B
0	6	5.53161	B

13.- Análisis de varianza para Azúcares totales en simulación de mercadeo.

13a.- General

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamientos	2	6.847	3.423	2.88	0.082
DSM	2	3.462	1.731	1.46	0.259
Tratamientos*DSM	4	4.240	1.060	0.89	0.489
Error	18	21.409	1.189		
Total	26	35.959			

13b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Etileno	9	7.70531	A
Etileno+1-MCP	9	7.02114	A
Testigo	9	6.47435	A

13c.- Días en simulación de mercadeo

DSM	N	Mean	Grouping
0	9	7.53192	A
5	9	7.00820	A
3	9	6.66068	A

14.- Análisis de varianza para azúcares totales en simulación de mercadeo.

Glucosa

14a.- General

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamientos	2	1.072	0.5360	0.79	0.469
DSM	2	2.143	1.0716	1.58	0.233
Tratamientos*DSM	4	1.982	0.4956	0.73	0.583
Error	18	12.210	0.6783		
Total	26	17.407			

14b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Etileno	9	3.75098	A
Etileno+1-MCP	9	3.33054	A
Testigo	9	3.32609	A

14c.- Días en simulación de mercadeo

DSM	N	Mean	Grouping
0	9	3.86716	A
5	9	3.28716	A
3	9	3.25329	A

15.- Análisis de varianza para azúcares totales en simulación de mercadeo.

Fructosa

15a.- General

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamientos	2	1.430	0.7148	1.11	0.350
DSM	2	2.047	1.0234	1.60	0.230
Tratamientos*DSM	4	1.837	0.4593	0.72	0.592
Error	18	11.547	0.6415		
Total	26	16.861			

15b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Etileno	9	3.43696	A
Etileno+1-MCP	9	2.98710	A
Testigo	9	2.91795	A

15c.- Días en simulación de mercadeo

DSM	N	Mean	Grouping
0	9	3.50333	A
3	9	2.92511	A
5	9	2.91357	A

16.- Análisis de varianza para Azúcares totales en simulación de mercadeo.

Sacarosa

16a.- General

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamientos	2	1.043	0.5213	0.60	0.561
DSM	2	1.574	0.7870	0.90	0.423
Tratamientos*DSM	4	2.919	0.7297	0.84	0.520
Error	18	15.696	0.8720		
Total	26	21.232			

16b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Etileno+1-MCP	9	0.711214	A
Etileno	9	0.569629	A
Testigo	9	0.241992	A

16c.- Días en simulación de mercadeo

DSM	N	Mean	Grouping
5	9	0.815180	A
3	9	0.482280	A
0	9	0.225376	A

17.- Análisis de varianza para Ácidos orgánicos en simulación de mercadeo.

Ácido cítrico

17a.- General

Source	DF	Adj SS	Adj	MSF-Value	P-Value
Tratamientos	2	0.001666	0.000833	1.15	0.339
DSM	2	0.004950	0.002475	3.41	0.055
Tratamientos*DSM	4	0.009727	0.002432	3.35	0.032
Error	18	0.013048	0.000725		
Total	26	0.029391			

17b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Etileno+1-MCP	9	0.131572	A
Etileno	9	0.125509	A
Testigo	9	0.112725	A

17c.- Días en simulación de mercadeo

DSM	N	Mean	Grouping
0	9	0.138996	A
3	9	0.124866	A B
5	9	0.105945	B

18.- Análisis de varianza para Ácidos orgánicos en simulación de mercadeo.

Ácido málico

18a.- General

Source	DF	Adj SS	Adj	MSF-Value	P-Value
Tratamientos	2	0.000069	0.000034	0.20	0.817
DSM	2	0.000937	0.000469	2.80	0.087
Tratamientos*DSM	4	0.000512	0.000128	0.77	0.561
Error	18	0.003008	0.000167		
Total	26	0.004526			

18b.- Tratamiento

Tratamientos	N	Mean	Grouping
Etileno	9	0.0322278	A
Etileno+1-MCP	9	0.0307806	A
Testigo	9	0.0283661	A

18c.- Días en simulación de mercadeo

DSM	N	Mean	Grouping
0	9	0.0385535	A
3	9	0.0281162	A
5	9	0.0247048	A

Tablas de análisis de varianza para evaluaciones fisiológicas en frutos de papaya.

19.- Análisis de varianza para CO₂ en simulación de mercadeo.

19a.- General

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamiento	2	691.3	345.67	15.77	0.000
DSM4	4	42.0	110.49	5.04	0.013
Replica (Tratamiento)	3	130.8	43.59	1.99	0.170
Tratamiento*DSM	8	491.7	61.46	2.80	0.053
Error	12	263.0	21.92		
Total	29	2018.8			

19b.- Tratamiento

Tratamiento	N	Mean	Grouping
Testigo	10	27.1085	A
Etileno	10	18.0895	B
Etileno+1-MCP	10	16.0650	B

19c.- Días en simulación de mercadeo

DSMN	Mean	Grouping
5	6 26.0642	A
4	6 23.4609	A B
1	6 19.5965	A B
3	6 17.2040	B
2	6 15.7793	B

20.- Análisis de varianza para etileno en simulación de mercadeo.

20a.- General

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamiento	2	0.6540	0.3270	2.28	0.144
DSM	4	0.5726	0.1431	1.00	0.445
Replica (Tratamiento)	3	0.9811	0.3270	2.28	0.131
Tratamiento*DSM	8	1.1451	0.1431	1.00	0.483
Error	12	1.7177	0.1431		
Total	29	5.0705			

20b.- Tratamiento

Tratamien	N	Mean	Grouping
Etileno+1-MCP	10	0.313221	A
Etileno	10	0.000000	A
Testigo	10	-0.000000	A

20c.- Días en simulación de mercadeo

DSM	N	Mean	Grouping
2	6	0.343695	A
4	6	0.178340	A
5	6	0.000000	A
3	6	0.000000	A
1	6	0.000000	A