

ACELERACIÓN DE LA MADURACIÓN EN MANGO 'KENT' REFRIGERADO

RIPENING ENHANCEMENT OF REFRIGERATED 'KENT' MANGO

Elizabeth Zamora Cienfuegos¹, Hugo S. García², Miguel Mata Montes de Oca^{1*} y Beatriz Tovar Gómez¹

¹Laboratorio de Investigación en Alimentos, Instituto Tecnológico de Tepic. Apdo. Postal 634. C.P. 63000. Tepic, Nayarit. Tel. y Fax: (311) 213-1891. Correo electrónico: mmata@tepic.megared.net.mx ²Unidad de Investigación y Desarrollo de Alimentos Instituto Tecnológico de Veracruz. M.A. de Quevedo 2779, C.P. 91897. Veracruz, Ver.

* Autor para correspondencia

RESUMEN

Un problema que restringe el mercado mundial del mango (*Mangifera indica* L.) 'Kent', es la falta de uniformidad en la maduración del fruto y el escaso desarrollo de color en la cáscara. El mango de exportación es transportado a 13 °C hasta el mercado, y no se ha encontrado información científica concerniente a la aplicación de etileno exógeno después de exponer la fruta a temperaturas de refrigeración. En el presente trabajo se evaluó la aplicación de etileno exógeno en mango 'Kent' después del almacenamiento por 4 d a 13±1 °C y su posterior traslado a temperatura de 27±2 °C. Se seleccionaron 100 frutos con tratamiento hidrotérmico para cada uno de los siguientes tratamientos: mango madurado sin refrigeración ni aplicación de etileno, mango refrigerado por 4 d sin tratamiento con etileno y posteriormente almacenado a 27±2 °C, y refrigerado por 4 d más tratamiento con etileno exógeno a 100, 500 y 1000 µL L⁻¹ por 18 h a 20 °C, con posterior maduración a 27±2 °C. Como respuesta se evaluaron parámetros fisiológicos y fisicoquímicos. La aplicación de etileno exógeno al mango refrigerado por 4 d estimuló la maduración de los mismos y favoreció el desarrollo del color de la cáscara, lo que mejoró la apariencia externa de los frutos. Debido a la refrigeración se mantuvieron valores altos de firmeza de la pulpa durante los primeros días de almacenamiento (día 2 y 4, respectivamente), y un descenso normal de ésta después del tratamiento con etileno. Los tratamientos con dosis de 100 y 500 µL L⁻¹ de etileno produjeron mejores respuestas para la maduración; el sabor de los frutos así tratados fue ligeramente menos dulce y no se detectaron sabores u olores anormales debidos al tratamiento con etileno exógeno.

Palabras clave: *Mangifera indica* L. 'Kent', etileno, respiración, azúcares, color, sabor.

SUMMARY

An important handling problem of 'Kent' mangos (*Mangifera indica* L.) trade in the world is the lack of uniform ripening and limited peel color development. Mangoes bound for export are transported at 13 °C until they reach distribution points. We are not aware of reports concerning the application of ethylene to previously refrigerated mangoes. Exogenous ethylene was applied to export-quality 'Kent' mangoes after 4 d of refrigerated storage at 13±1 °C, and then transferred to ambient conditions (27±2 °C). Batches of 100 fruits were

distributed in the following treatments: control mangoes not refrigerated neither ethylene treated; mangoes refrigerated at 13 °C for 4 d, without ethylene treatment and ripened at 27±2 °C; and mangoes refrigerated for 4 d and subjected to atmospheres containing ethylene at 100, 500 and 1000 µL L⁻¹ for 18 h at 20 °C, and then transferred to normal atmosphere at 27±2 °C for ripening. Physiological and physico-chemical variables were monitored. Exogenous ethylene induced fast ripening with better peel color development and overall appearance. Firmness was maintained high during the first 4 d of refrigerated storage, although a normal decline in firmness was observed after the ethylene treatment. Treatment with ethylene at 100 and 500 µL L⁻¹ produced the best responses for fruit ripening. Ethylene-treated fruits were less sweet than controls, and no treatment related off-flavors or aromas were detected.

Index words: *Mangifera indica* L. 'Kent', ethylene, respiration, sugars, color, flavor.

INTRODUCCIÓN

Una característica de la maduración de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) 'Kent' y 'Keitt' producidos en Nayarit, es que no desarrollan un color externo atractivo al madurar porque la cáscara se mantiene verde, mientras que los cultivares 'Haden' y 'Tommy Atkins' al madurar se tornan de color amarillo y amarillo-rojizo. Además, los cultivares 'Kent' y 'Keitt' carecen de uniformidad en la maduración de frutos de un mismo lote, por lo que resultan poco demandados para consumo a pesar de la excelente calidad sensorial de su pulpa. Por esto es importante mejorar la apariencia visual de estos frutos (Guzmán, 1998).

El mango 'Kent' requiere de tratamiento hidrotérmico de 46.1 °C por 90 min como requisito para su exportación a los Estados Unidos, y para Canadá el tratamiento requerido es de 55 °C por 15 min, seguido en ambos casos de un enfriado a 21 °C por 30 min (Mata y Mosqueda, 1995). Los frutos empacados son trasladados en contenedores a

13 °C, y se consideran 24 h para llegar a la frontera con Estados Unidos, donde posteriormente son distribuidos para su mercadeo.

El etileno es una fitohormona con elevada actividad biológica que regula la maduración de los frutos (Lelièvre *et al.*, 1997). La producción de etileno en los frutos climatéricos generalmente es muy baja antes de comenzar la maduración; sin embargo, al inicio de ésta los frutos exhiben un aumento significativo en su biosíntesis. Al respecto, McMurchie *et al.* (1972) introdujeron los conceptos de sistemas 1 y 2 para la producción de etileno; en el sistema 1 la velocidad de biosíntesis de etileno es muy baja (producción basal) y está presente en los frutos climatéricos y no climatéricos. En el sistema 2 (autocatalítico) la velocidad de producción de etileno es alta y se presenta sólo en frutos climatéricos.

En el mango la velocidad de producción de etileno varía ampliamente entre cultivares (Brady, 1993). Con etileno exógeno se induce la producción autocatalítica de dicha fitohormona (Saltveit, 1999). La respuesta de la fruta al etileno exógeno depende de varios factores, entre los que destacan la sensibilidad del tejido, la etapa de maduración, la concentración, el tiempo de exposición a este gas y la temperatura (Saltveit, 1999). Los mangos 'Tommy Atkins' requieren una atmósfera que contenga entre 1.21 y 10.0 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno por 24 h a 25 °C para estimular el proceso de maduración, mientras que la maduración completa se logra después de exponer los frutos a 1.0 mL L^{-1} de etileno (Medlicott *et al.*, 1987); una cantidad elevada de etileno exógeno puede inhibir al sistema responsable para la maduración normal (Atta-Aly *et al.*, 2000).

Según Medlicott *et al.* (1987), el etileno mejora el sabor de los frutos de mango y los procesos relacionados con la maduración. Centurión *et al.* (1998) encontraron que la aplicación de ácido 2-cloroetil-fosfónico (ethephon) a frutos de mango 'Kent' sin tratamiento hidrotérmico produjo degradación de la clorofila y aparición de los colores rojo y amarillo característicos durante el almacenamiento a 27 ± 2 °C. No obstante, una vez que la fruta climatérica inicia el proceso de maduración, la concentración interna de etileno aumenta rápidamente hasta niveles de saturación y la aplicación de etileno exógeno no causa efecto alguno en dicho proceso (Saltveit, 1999). Por otro lado, Wang (1990) demostró que en frutos con daños por frío también se estimula la producción de etileno.

La falta de uniformidad en la maduración restringe la comercialización del mango en el mundo. El mango de exportación es transportado a 13 °C hasta el mercado, y es poca la información científica concerniente a la aplicación de etileno exógeno después de exponer la fruta a tempera-

turas de refrigeración. Por ello, en el presente trabajo se evaluó el efecto de la aplicación de etileno exógeno en mango 'Kent' de exportación después de ser almacenado por 4 d a 13 °C, tiempo que se considera pertinente para su traslado desde las zonas productoras hasta los mercados, y su posterior maduración a temperatura de 27 ± 2 °C.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron frutos de mango 'Kent' cosechados en la zona productora del Municipio de San Blas, Nayarit en madurez fisiológica. Los frutos fueron sometidos a tratamiento hidrotérmico (46.1 °C por 90 min), seguido de un enfriamiento a 21 °C por 30 min en la empacadora Productora Agrícola La Romera SPR de RL. Se aplicaron cinco tratamientos: 1) Mango sin refrigeración (MSR) ni tratamiento con etileno, almacenado a temperatura de 27 ± 2 °C y 85-90 % de humedad relativa (HR); 2) Mango refrigerado (MR) sin aplicación de etileno, el cual se almacenó a 13 ± 1 °C y 85-90 % HR por 4 d y se completó su maduración a temperatura de 27 ± 2 °C; 3), 4) y 5) Mangos de tratamientos RE100, RE500 y RE1000, que correspondieron a frutos almacenados a 13 ± 1 °C y 95 % HR por 4 d, con posterior exposición a una atmósfera con etileno (100, 500 y 1000 $\mu\text{L L}^{-1}$, respectivamente) durante 18 h a 20 ± 1 °C y 97 % HR, después se almacenaron a temperatura de 27 ± 2 °C y 85-90 % HR hasta completar su maduración. En cada tratamiento se usó una muestra de 100 frutos tomados al azar.

El tratamiento con etileno se realizó en cámaras selladas de 225 L, en las cuales se colocaron tres recipientes de 500 mL que contenían una solución saturada de NaOH para absorber el CO₂. El gas que se aplicó fue etileno en aire sintético (Etil-5 ® Praxair, México S.A. de C.V.) contenido en un cilindro de 30 kg; la introducción del gas a la cámara (diseñada con entrada y salida de gases) se controló con un flujómetro y la concentración deseada en la cámara se monitoreó con un cromatógrafo de gases, como se indica enseguida.

La velocidad de respiración (VR) y el monitoreo del etileno durante la aplicación de los tratamientos se midieron mediante la técnica reportada por Tovar *et al.* (2001). Para medir la VR se encerró un fruto durante 2 h en un recipiente de vidrio hermético provisto de una septa; posteriormente se inyectaron 0.5 mL de gas tomado del espacio de cabeza del recipiente en un cromatógrafo de gases modelo HP6890 provisto de dos detectores, uno de conductividad térmica para determinar CO₂ y otro de ionización de flama para determinar etileno; se usó una columna HP-PlotQ de 15 m x 0.53 mm y 40 μm de espesor de película y gas nitrógeno como acarreador con un flujo de 7 mL min^{-1} . La cámara de inyección y los detectores se

mantuvieron a 250 °C; el horno a 50 °C por 30 s, la que posteriormente se aumentó a 30 °C min⁻¹ hasta alcanzar 80 °C. En el cromatógrafo la velocidad de flujo del aire fue de 400 mL min⁻¹ y del H₂ de 30 mL min⁻¹. Se empleó un gas estándar certificado (Praxair, México S.A. de C.V.) que contenía 2 % de CO₂, 10 % O₂, 11.3 µL L⁻¹ de etileno y balanceado a 100 % con N₂, para cuantificar tanto el CO₂ como el etileno. La velocidad de respiración se determinó diariamente.

Las siguientes variables se midieron cada 2 d: 1) Firmeza de la pulpa, con un texturómetro (SHIMPO FGV-100) adaptado con un puntal cilíndrico de 10 mm y una longitud de penetración de 1.0 cm; las medidas se realizaron en los dos lados del diámetro ecuatorial y se reportaron en N, 2) Sólidos solubles totales (%) determinados mediante un refractómetro Bellingham Stanley Ltd. calibrado con agua destilada, y se hicieron correcciones por temperatura para reportar los datos a 20 °C (AOAC, 1990), 3) Azúcares, determinados mediante cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) en un cromatógrafo marca GBC equipado con una bomba cuaternaria modelo LC1150 y un detector de índice de refracción GBC modelo LC1420 a 40 °C, según la técnica de Medlicott y Thompson (1985); se usó una columna Exsil amino ® marca GBC de 150 mm de longitud por 4.6 mm de diámetro interno, tamaño de partícula de 5 µm y de poro 80 Å, la cual se mantuvo a 35 °C; la fase móvil fue una mezcla de acetonitrilo:agua (85:15) y su velocidad de flujo fue de 1.2 mL min⁻¹; como estándares se emplearon glucosa, fructosa y sacarosa (Sigma) para realizar curvas de calibración y reportar cada uno de estos azúcares en g /100 g de pulpa de mango. 4) Acidez titulable (% ácido cítrico), mediante titulación con NaOH 0.05 N. 5) pH del jugo, mediante un potenciómetro marca Jenco. 6) Color, con base en el ángulo de tono (Hue) medido en la pulpa del fruto en un corte paralelo a la superficie de la semilla a cada lado del fruto, con un colorímetro Minolta CR300 y el iluminante C (6774 K); el instrumento se calibró con un estándar blanco ($Y = 92.1$, $x = 0.3136$, $y = 0.3199$) y se tomaron tres lecturas en cada cara. 7) Carotenos totales, mediante la técnica de Philip y Chen (1988) en una extracción hecha con una mezcla de acetona-éter de petróleo (80:20), y la absorbancia de la capa de éter de petróleo se midió a 449 nm; con este valor se cuantificaron los carotenos totales mediante el coeficiente de extinción del β-caroteno en éter de petróleo.

En los frutos ya maduros (día nueve), se midió visualmente el color externo en un lote de 50 frutos, con la escala siguiente: 1 = verde, 2 = más verde que amarillo, 3 = igual cantidad de verde que amarillo, 4 = más amarillo que verde, y 5 = amarillo, y se reportó el porcentaje de frutos situados en cada uno de los estados de madurez

(Medlicott *et al.*, 1990b). Además se hizo una evaluación sensorial mediante una prueba triangular con nueve jueces parcialmente entrenados como panelistas, que calificaron el sabor; para esta evaluación se empleó mango en madurez de consumo (día nueve para los tratamientos de etileno y día 12 para los frutos MR). Los resultados para esta prueba se analizaron conforme a la distribución χ^2 (Pedreiro y Pangborn, 1989).

Se hicieron análisis de varianza por cada día de almacenamiento y las comparaciones de medias se realizaron mediante Fisher PLSD a un nivel de significancia de 95 %. Todos los datos de los análisis reflejan el promedio del análisis de cuatro frutos, excepto para VR que se analizó en un fruto, con tres repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La máxima velocidad de respiración (climaterio) en los frutos de mango 'Kent' sin refrigeración ocurrió a los 6 d, con 62.7 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (Figura 1A). En mangos refrigerados por 4 d y sin tratamiento con etileno, el pico se retrasó en 2 d y la producción de CO₂ fue menor (52.0 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) (Figura 1B). Tal diferencia en respuestas se atribuye a la refrigeración del fruto. En mango 'Kent' sin tratamiento hidrotérmico y almacenado a 24 °C, Tovar *et al.* (2001) reportaron un pico climatérico de 51.6 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ tras 8 d de cosechado; estos resultados sugieren que el tratamiento hidrotérmico adelanta el climaterio; sin embargo, la refrigeración por 4 d a 13 °C la retrasa. En frutos refrigerados y con aplicación de etileno a 100 y 500 µL L⁻¹ (RE100 y RE500) el máximo climatérico se observó a los 5 d (63.4 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y 82.7 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, respectivamente), mientras que en mangos refrigerados con 1000 µL L⁻¹ de etileno (RE1000) se encontró a los 6 d (61.3 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, Figura 1C). La concentración más elevada de etileno externo aplicada en RE1000 podría ocasionar autoinhibición en el sistema de producción de etileno de los frutos, como ha sido reportado por Atta-Aly *et al.* (2000) lo que conllevaría a que la velocidad respiratoria en este tratamiento fuera menor que la observada en RE500 y ocasionara el retraso de 1 d en la presentación del climaterio. Debido a que los mangos tratados con etileno mostraron un comportamiento diferente a los refrigerados, el efecto observado sobre la respiración se atribuye al etileno exógeno. De esta manera, a pesar del tratamiento hidrotérmico y del almacenamiento refrigerado por 4 d, se encontró respuesta de los frutos a la aplicación de este gas. Según Saltveit (1999), el etileno estimula la respiración, la síntesis de pigmentos, y en general la maduración postcosecha de la fruta; por otro lado, según Dunlap *et al.* (1990) la exposición de la fruta a alta temperatura no causa daño por calor y se recupera rápidamente la capacidad para sintetizar etileno.

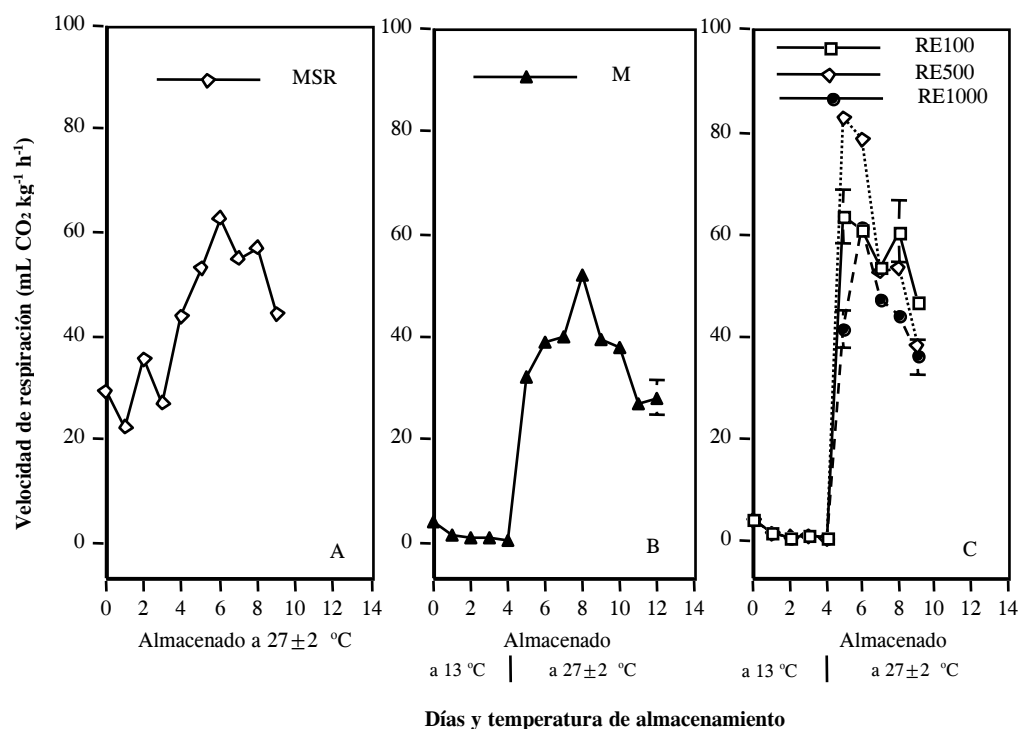


Figura 1. Velocidad de respiración en el mango 'Kent' almacenado continuamente a 27 ± 2 °C sin tratamiento con etileno (A), mango refrigerado a 13 °C (MR) por 4 d y mantenido posteriormente a 27 ± 2 °C sin tratamiento con etileno (B), y con tratamiento de etileno exógeno (18 h a 20 ± 1 °C) después del cuarto día de refrigeración (C). Los datos representan la media de tres valores y la desviación estándar.

Saltveit (1999) reportó que niveles muy bajos de etileno pueden iniciar la disminución de la firmeza de los frutos. En esta investigación el efecto del etileno exógeno en los frutos fue inmediato ya que la firmeza en el día 5 resultó estadísticamente diferente a los frutos refrigerados por 4 d (Cuadro 1). De esta manera, en estos frutos los cambios inherentes al proceso de maduración relacionados con la firmeza se iniciaron desde el día 5, mientras que en los refrigerados por 4 d y sin tratamiento con etileno los cambios fueron más lentos. En el día 7 los tratamientos RE100 y RE500 presentaron valores promedio de firmeza estadísticamente menores que los frutos RE1000, sin refrigeración (MSR) y refrigerados (MR), lo cual se atribuye al efecto del etileno exógeno. Pero en el día 9, la firmeza de los frutos tratados con etileno fue similar a los frutos MSR, y todos ellos estadísticamente inferiores que la de los frutos MR. Entonces la refrigeración por 4 d permite un mejor manejo posterior de los frutos, incluso que los frutos tratados con etileno.

En el día 5 los frutos tratados con etileno presentaron valores promedio más altos de sólidos solubles totales (SST) que los frutos refrigerados por 4 d, aunque significativamente más bajos que los frutos sin refrigeración. Esto indica que el etileno exógeno indujo aumento en los contenidos de sólidos solubles totales (Cuadro 1). En el día

7, el mayor contenido de SST se encontró en los frutos no refrigerados, y este valor no difirió de los observados en los días 5 y 9; sin embargo, fue estadísticamente igual al observado en RE500 el día 7; esto sugiere un mayor avance en el proceso de maduración de estos frutos. En el día 9, los frutos de RE100 y RE1000 presentaron un alto contenido de SST, con RE1000 estadísticamente diferente a los frutos refrigerados por 4 d y no refrigerados. Esto sugiere un retraso de 2 d en el proceso de maduración de los frutos RE100 y RE1000, con respecto a RE500. Al día 9 los frutos MR no desarrollaron aún el máximo contenido de SST, debido al proceso de maduración más lento inducido por la refrigeración y a que no recibieron tratamiento con etileno exógeno; en el día 12 estos frutos presentaron 19.2 °Brix (datos no mostrados), lo cual permite asumir un aumento en su vida útil por 3 d.

Se ha reportado (Castrillo *et al.*, 1992) que el contenido de SST está conformado principalmente por la mezcla de sacarosa, glucosa y fructosa, y que la actividad de la sacarosa fosfato sintasa se eleva conforme aumenta la sacarosa. En este sentido, se puede asumir que el tiempo de refrigeración hace más lenta la formación de la sacarosa, pero después de su traslado a temperatura de 27 ± 2 °C ésta continúa elevándose en frutos refrigerados por 4 d (Cuadro 1). Vazquez-Salinas y Lakshminarayana (1985)

Cuadro 1. Firmeza, sólidos solubles totales y azúcares durante la maduración postcosecha de mango 'Kent' sin y con tratamiento con etileno almacenado a diferentes temperaturas.

| Días después de cosecha | Tratamientos | | | | |
|-------------------------------------|------------------|------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | MSR (27±2 °C) | MR | RE100 (27±2 °C) | RE500 (27±2 °C) | RE1000 (27±2 °C) |
| Firmeza (N) | | | | | |
| 2 | 109.1 b,v | 152.5 a,w | | | |
| 4* | 94.6 b,w | 160.6 a,wy | | | |
| 5 | 24.9 d,x | 163.6 a,v | 44.2 c,v | 44.5 c,v | 72.6 b,v |
| 7 | 17.4 d,y | 144.9 a,wz | 12.1 c,w | 12.4 c,w | 20.5 b,w |
| 9 | 11.6 b,y | 20.9 a,x | 12.6 b,w | 11.6 b,w | 12.8 b,x |
| Sólidos solubles totales (%) | | | | | |
| 2 | 10.72 a,x | 8.43 b,x | | | |
| 4* | 13.51 a,w | 7.47 b,y | | | |
| 5 | 18.09 a,v | 7.77 c,y | 10.64 b,x | 10.55 b,w | 10.99 b,x |
| 7 | 19.45 a,v | 12.04 c,w | 16.58 b,w | 18.57 a,v | 16.53 b,w |
| 9 | 18.17 bc,v | 18.00 bc,v | 19.30 ab,v | 16.76 c,v | 20.58 a,v |
| Sacarosa (g/100 g) | | | | | |
| 2 | 4.32 a,w | 3.28 b,y | | | |
| 4* | 6.22 a,w | 3.04 b,y | | | |
| 5 | 9.92 a,v | 3.98 c,x | 4.99 b,x | 5.62 b,x | 5.82 b,w |
| 7 | 11.75 a,v | 4.99 c,w | 9.38 ab,w | 7.39 bc,w | 6.11 c,w |
| 9 | 11.59 b,v | 11.08 b,v | 13.26 a,v | 10.44 b,v | 13.35 a,v |
| Glucosa (g/100 g) | | | | | |
| 2 | 0.62 a,w | 0.42 b,x | | | |
| 4* | 1.08 a,v | 0.50 b,x | | | |
| 5 | 1.04 a,v | 0.53 d,wx | 0.71 b,w | 0.70 bc,w | 0.55 cd,w |
| 7 | 1.35 a,v | 0.71 b,w | 0.88 b,w | 0.68 b,w | 0.61 b,w |
| 9 | 0.69 b,w | 1.55 a,v | 1.47 a,v | 0.92 b,v | 1.00 b,v |
| Fructosa (g/100 g) | | | | | |
| 2 | 2.34 a,x | 2.31 a,wx | | | |
| 4* | 2.82 a,x | 2.17 b,xy | | | |
| 5 | 3.06 a,wx | 2.47 a,w | 2.92 a,w | 3.27 a,v | 3.01 a,w |
| 7 | 3.58 a,v | 2.16 b,y | 2.83 a,w | 2.33 b,w | 1.69 b,x |
| 9 | 3.31 b,vw | 4.10 b,v | 3.88 a,v | 3.23 b,v | 3.29 b,v |

MSR = mango sin refrigeración; MR = mango refrigerado a 13±1 °C por 4 d y posterior almacenamiento a 27±2 °C, y sin tratamiento con etileno; RE100, 500 y 1000 = mango refrigerado por 4 d y tratamiento con etileno al día 4 con 100, 500 y 1000 µL L⁻¹; *día del tratamiento con etileno.

Medias con la misma letra en cada hilera (a,b,c...), o columna (v,w,x...), no son diferentes estadísticamente (Fisher PLSD, 0.05).

encontraron también que la sacarosa es el azúcar predominante en el mango 'Kent' maduro (12.3 % a 25 °C). En el día 5 los frutos tratados con etileno exógeno presentaron valores promedio de sacarosa estadísticamente diferentes a los refrigerados por 4 d y sin refrigerar, lo cual indica el efecto del etileno exógeno en la formación de sacarosa (Cuadro 1). Estas diferencias se mantienen en el día 7 en RE100 y RE1000. Los mangos del tratamiento RE500 mostraron menor contenido de sacarosa en el día 9, en comparación con RE100 y RE1000, lo cual podría explicarse por la mayor velocidad de producción de CO₂ en estos frutos (Figura 1), y el consiguiente consumo de los monosacáridos responsables de la formación de la sacarosa.

No se observó un efecto importante del etileno exógeno en la evolución de la glucosa y la fructosa en los frutos, cuyos contenidos fueron bajos (Cuadro 1). Varios reportes (Vazquez-Salinas y Lakshminarayana, 1985; Medlicott y Thompson, 1985; Castrillo *et al.*, 1992) coinciden en que las concentraciones de estos azúcares permanecen bajas durante el almacenamiento, debido a que la glucosa es uno de los principales sustratos de la respiración.

La acidez en los frutos no refrigerados (Cuadro 2) disminuyó durante el almacenamiento, mientras en los refrigerados por 4 d se mantuvo constante o aumentó ligeramente hasta el día 9; este comportamiento es anormal. Es posible que la refrigeración haya causado esta desviación de la acidez en los frutos después de su traslado a 27±1 °C. En los frutos tratados con etileno la acidez disminuyó,

lo cual es causado por el etileno exógeno; sin embargo, en el día 9 fueron estadísticamente diferentes a los no refrigerados, al presentar valores mas altos, lo que indicaría que no se recuperaron del almacenamiento en refrigeración.

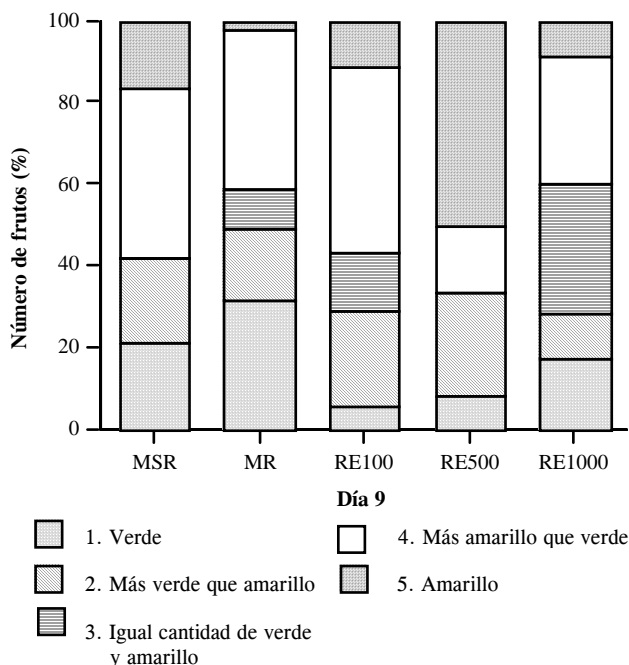


Figura 2. Color externo en el mango 'Kent' almacenado siempre a 27 ± 2 °C sin tratamiento con etileno (MSR), mango refrigerado a 13 ± 1 °C (MR) por 4 d y posteriormente almacenado a 27 ± 2 °C, y con tratamiento exógeno de etileno (18 h a 20 ± 1 °C) después del cuarto día de refrigeración en el día 9.

Medlicott *et al.* (1990a) reportaron valores de pH mayores de cuatro en mango 'Kent' maduro. En el presente trabajo los frutos refrigerados por 4 d mostraron una menor elevación del pH que la observada en los frutos sin refrigerar, lo cual es consecuencia de la refrigeración (Cuadro 2). Los mangos de RE100 y RE500 presentaron el día 5 valores estadísticamente iguales a los no refrigerados y mayores a los refrigerados por 4 d y RE1000; así, el efecto del etileno exógeno fue mayor para RE100 y RE500, aunque en el día 9 los tratamientos con etileno presentaron valores estadísticamente iguales, pero diferentes a MSR y MR. Esto sugiere que el etileno exógeno no logró restablecer el efecto ocasionado por la refrigeración.

El valor del ángulo de tono indica la variación del amarillo (90) al naranja (45). Se observó que tanto los mangos refrigerados por 4 d como los tratamientos con

etileno (Cuadro 2) no mostraron el descenso similar a los no refrigerados, por lo que la pulpa presentó tonalidades amarillas sin el característico color naranja observado en los frutos no refrigerados. Este comportamiento se atribuye a que tanto en frutos refrigerados por 4 d como en los tratamientos con etileno la síntesis de carotenos disminuyó ya que se encontraron menores cantidades de estos componentes que en los no refrigerados (Cuadro 2). Es evidente que tanto en mangos refrigerados por 4 d, como en los tratados con etileno exógeno se encuentra disminuida la síntesis de carotenos. Se ha reportado que temperaturas de almacenamiento de refrigeración afectan la formación de carotenoides en mango 'Alphonso'; asimismo, cuando mangos 'Mamey' almacenados a $8-12$ °C se trasladaron a temperatura ambiente el proceso de maduración fue anormal al manifestarse poco desarrollo de color y sabor (Mittra y Baldwin, 1997). Por otro lado, frutos de mango que maduraron a 10 °C contenían menos carotenoides totales y menos β -caroteno que los frutos que se maduraron a temperatura de 25 °C (Mittra y Baldwin, 1997). Se puede inferir entonces que en el presente trabajo la refrigeración ocasionó la disminución de estos compuestos y que el tratamiento con etileno no reactivó su biosíntesis en su totalidad.

Los tratamientos RE100, RE500 y RE1000 presentaron valores del color externo en el día 9 de 28.6, 33.3 y 28.4 %, respectivamente (Figura 2), para frutos con color externo verde y más verde que amarillo; adicionalmente, el tratamiento RE1000 presentó 31.4 % de frutos con igual porcentaje de color de verde y amarillo (escala 3). De esta manera, en RE100 y RE500 cerca de 70 % de los frutos mejoró su apariencia externa (más amarillo que verde y amarillo). Estos resultados permiten establecer que el etileno exógeno ocasionó la desaparición de pigmentos verdes en la cáscara y favoreció la manifestación de colores amarillos, así como la homogeneidad en el color externo del mango.

La evaluación sensorial se realizó con la pulpa de los frutos en madurez de consumo (día 9 para los tratamientos con etileno y día 12 para los frutos MR) con diferencias a un nivel de significancia de 95 %, en el sabor de la pulpa de mangos refrigerados y de los tratados con etileno exógeno. Los jueces reportaron un sabor menos dulce en los tratamientos con etileno, lo cual se atribuye a la menor concentración de sacarosa (15.6 g/100 g en mangos refrigerados para el día 12) y acidez titulable (0.47 % en los refrigerados para el día 12) encontradas en estos tratamientos. Es de señalar que no se detectaron sabores u olores anormales en la pulpa de frutos con tratamiento con etileno.

Cuadro 2. Acidez titulable, pH, ángulo de tono y carotenos totales durante la maduración postcosecha de mango 'Kent' sin y con tratamiento con etileno almacenado a diferentes temperaturas.

| Días después de cosecha | Tratamientos | | | | |
|--|------------------|-----------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | MSR (27±2 °C) | MR | RE100 (27±2 °C) | RE500 (27±2 °C) | RE1000 (27±2 °C) |
| Acidez titulable (% expresado como ácido cítrico) | | | | | |
| 2 | 0.74 a,v | 0.60 b,w | | | |
| 4* | 0.81 a,v | 0.63 b,w | | | |
| 5 | 0.79 a,v | 0.65 ab,w | 0.70 ab,v | 0.63 b,v | 0.68 ab,v |
| 7 | 0.57 c,w | 0.60 bc,w | 0.67 a,v | 0.59 bc,v | 0.62 ab,v |
| 9 | 0.35 d,x | 0.69 a,v | 0.47 c,w | 0.50 b,w | 0.52 b,w |
| pH | | | | | |
| 2 | 3.79 a,x | 3.83 a,wx | | | |
| 4* | 3.57 b,y | 3.93 a,v | | | |
| 5 | 3.92 a,w | 3.68 b,y | 3.88 a,w | 3.94 a,w | 3.69 b,w |
| 7 | 3.95 ab,w | 3.92 a,v | 4.10 a,v | 3.81 b,x | 3.72 b,w |
| 9 | 4.39 a,v | 3.73 c,xy | 4.09 b,v | 4.05 b,v | 3.98 b,v |
| Angulo de tono (h) | | | | | |
| 2 | 89.85 a,v | 90.73 a,w | | | |
| 4* | 90.93 a,v | 92.99 a,w | | | |
| 5 | 88.84 b,v | 97.24 a,v | 95.20 ab,v | 98.81 a,v | 93.48 ab,v |
| 7 | 77.58 c,w | 89.9 a,w | 87.28 ab,w | 84.23 b,w | 93.81 a,v |
| 9 | 73.96 b,x | 89.02 a,w | 81.23 ab,x | 84.33 a,w | 79.27 b,w |
| Carotenos totales (mg/100 g) | | | | | |
| 2 | 5.72 a,z | 6.31 a,y | | | |
| 4* | 9.03 a,y | 6.14 b,y | | | |
| 5 | 15.47 a,x | 10.42 b,x | 7.54 c,x | 4.05 d,x | 7.48 c,x |
| 7 | 35.85 a,w | 17.78 c,w | 17.95 c,w | 13.17 d,w | 20.27 b,w |
| 9 | 67.33 a,v | 22.11 d,v | 38.87 b,v | 31.69 c,v | 38.79 b,v |

MSR = mango sin refrigeración; MR = mango refrigerado a 13±1 °C por 4 d y posterior almacenamiento a 27±2 °C, y sin tratamiento con etileno; RE100, 500 y 1000 = mango refrigerado por 4 d y tratamiento con etileno al día 4 con 100, 500 y 1000 µL L⁻¹; *día del tratamiento con etileno. Medias con la misma letra en cada hilera (a,b,c...), o columna (v,w,x...), no son diferentes estadísticamente (Fisher PLSD, 0.05).

CONCLUSIONES

La exposición a etileno exógeno de mangos 'Kent' refrigerados durante 4 d estimuló la maduración de los mismos y desarrolló el color en la cáscara, lo que mejoró la apariencia externa de los frutos; sin embargo, el color interno no logró completar su desarrollo. Los tratamientos con 100 y 500 µL L⁻¹ de etileno presentaron una mejor respuesta a la aplicación de dicho gas. El sabor de los frutos tratados con etileno fue ligeramente menos dulce y más ácido, y no se detectaron sabores u olores anormales debidos al tratamiento con etileno exógeno.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento de CoSNET para la realización de este trabajo a través del proyecto de investigación 590.01-P. También agradecemos al Ing. Abelardo González Cabrera por haber proporcionado las muestras de mango.

BIBLIOGRAFÍA

AOAC (1990) Official Methods of Analysis. 15th. Ed. Vol. II. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. pp:918-919.

Atta-Aly M A, J K Brecht, D J Huber (2000) Ripening of tomato locule gel tissue in response to ethylene. Posthar. Biol. Technol. 19 (3):239-244.

Brady C J (1993) Biochemical and molecular approaches to fruit ripening and senescence. In: B R Champ, E Highley and G I Johnson (eds.) ACIAR Proc. No. 50. W. Ferguson and Company, Brisbane. Australia. pp:205-217.

Castrillo M, N J Kruger, F R Whatley (1992) Sucrose metabolism in mango fruit during ripening. Plant Sci. 84 (1):45-51.

Centurión Y A R, S A N González, J A C Tamayo, J J Argumedo, E D Sauri (1998) The effect of ethephon on the colour, composition and quality of mango (*Mangifera indica*, cv Kent). Food Sci. Technol. Intnatl. 4:199-205.

Dunlap J R, S E Lingle, G E Lester (1990) Ethylene production in netted muskmelon subjected to postharvest heating and refrigerated mango. HortScience 25:207-209.

Guzmán E C (1998) Situación actual de la cadena productiva mango en México. Foro Internacional de mango y otras frutas tropicales. FIRA-Banco de México. Mazatlán, Sin., México. 35 p.

Lelièvre J M, A Latché, B Jones, M Bouzayen, J C Pech (1997) Ethylene and fruit ripening. Physiol. Plant. 101:727-739.

Mata B I, R V Mosqueda (1995) La producción de mango en México. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México. pp:135-147.

Medlicott A P, A K Thompson (1985) Analysis of sugars and organic acids in ripening mango fruits (*Mangifera indica* L. var. Keitt) by high performance liquid chromatography. J. Sci. Food Agric. 36 (7):561-566.

Medlicott A P, J M M Sigrist, S B Reynolds, A K Thompson (1987) Effects of ethylene and acetylene on mango fruit ripening. Ann. Appl. Biol. 111:439-444.

Medlicott A P, J M M Sigrist, O Sy. (1990 a) Ripening of mangos following low-temperature storage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115 (3):430-434.

Medlicott A P, M. N'Diaye, J M M Sigrist (1990 b) Harvest maturity and concentration and exposure time to acetylene influence initiation of ripening in mangos. J. Amer. Soc. Hort. Sci.115(3):426-430.

- McMurchie E J, W B McGlasson, I L Eaks (1972)** Treatment of fruit with propylene gives information about the biogenesis of ethylene. *Nature* 237:235-236.
- Mitra S K, E A Baldwin (1997)** Mango. *In: Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*. S Mitra (ed). CAB International, New York, N Y, USA. pp:85-97.
- Pedrero D L, R M Pangborn (1989)** Evaluación Sensorial de los Alimentos. Métodos Analíticos. 1a. ed. Ed. Alhambra, México. 249 p.
- Philip T, T S Chen (1988)** Development of a method for the quantitative estimation of provitamin A carotenoids in some fruits. *J. Food Sci.* 53(6):1703-1706.
- Saltveit M E (1999)** Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Posthar. Biol. Technol.* 15:279-292.
- Tovar B, H S García, M Mata (2001)** Physiology of pre-cut mango. I. ACC and ACC oxidase activity of slices subjected to osmotic dehydration. *Food Res. Intnatl.* 34(2-3):207-215.
- Vazquez-Salinas C, S Lakshminarayana (1985)** Compositional changes in mango fruit during ripening at different storage temperatures. *J. Food Sci.* 50:1646-1648.
- Wang W C (1990)** Chilling Injury in Horticultural Crops. CRC Press, Boca Ratón, FL. 325 p.