

# **Reporte Final de Investigación**

1 de febrero de 2016

## **Demostrando la Factibilidad del Uso de Atmósferas Modificadas (AM) para el Mango de Exportación**



## **Demostrando la Factibilidad del Uso de Atmósferas Modificadas (AM) para el Mango de Exportación**

### **Corresponsables:**

**Dr. Jeffrey K. Brecht and Dr. Steven A. Sargent**, University of Florida, Horticultural Sciences Dept.,  
Gainesville, FL

### **Colaboradores:**

**Dr. Nara C. Ristow**, Post-doc., University of Florida, **Dr. Sergio Tonetto de Freitas**, Embrapa  
**Semiarido**, Petrolina, Brazil;

**Dr. Jorge A. Osuna García**, INIFAP, Nayarit, México;

**Mr. Rich MacLeod**, TransFresh Corp., Salinas, CA;

**Dr. Shehbaz Singh**, Apio, Inc., Guadalupe, CA

### **Resumen**

Esta investigación preliminar fue realizada para demostrar la factibilidad de la incorporación de la tecnología del empaque bajo Atmósferas Modificadas (AM) con porcentajes óptimos de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en los sistemas de manejo. Las AM tienen el potencial de mantener mejor la calidad de mangos maduros a través del largo periodo de tránsito de Sudamérica hacia los consumidores en los Estados Unidos de América. Debido a que las AM disminuyen la velocidad del proceso de maduración, el uso de éstas puede permitir el transporte de mangos más maduros a mayores temperaturas que las utilizadas actualmente. Así, las AM pueden evitar el uso de bajas temperaturas que causan daño por frío y al mismo tiempo prevenir problemas al arribo al mercado debidos a ablandamiento, sobre maduración o la presencia de frutos enfermos después de los largos tiempos de traslado y temperaturas no inductivas al daño por frío, lo que resultaría en mangos con mejor calidad en el mercado de Estados Unidos.

Frutos de mango 'Ataulfo', 'Tommy Atkins' y 'Kent' se empacaron en bolsas de AM (Apio Breatheway), o en bolsas de plástico perforadas (NOW, testigo) en una empacadora comercial en Nayarit, México. Cada bolsa con aproximadamente 4 kg de fruto fue colocada en una caja de cartón estándar para su envío. Los frutos que estuvieron en bolsas de AM mostraron mejor calidad que los mangos almacenados en bolsas de plástico perforadas (testigo) cuando se enviaron en camiones comerciales y almacenamiento temporal en bodega a temperatura de 8 a 13 °C desde Nayarit hasta la frontera de Texas y luego almacenamiento adicional en la Universidad de Florida a 12.5 °C hasta completar 3 semanas de simulación de traslado de Sudamérica a Estados Unidos. Frutos de mango que se almacenaron en Nayarit a 12.5 °C por 3 semanas mostraron resultados similares. Esta investigación también demostró que las AM en 'Ataulfo' previnieron el desarrollo de 'corte negro' en frutos de esta variedad. Creemos que estos resultados garantizan el escalamiento de pruebas en embarques comerciales de Sudamérica usando mango cosechados con diferentes grados de madurez.

## Introducción

El empaquetado en AM es un nivel bajo de la tecnología de almacenamiento en Atmósferas Controladas (AC), la cual se ha usado en mango por más de 50 años. La forma en que las AM trabajan es balanceando la permeabilidad de los niveles de  $O_2$  y  $CO_2$  en los empaques debido a la respiración de los frutos, los cuales consumen  $O_2$  y liberan  $CO_2$ . Cuando diseñadas apropiadamente, las AM permiten una atmósfera de reducido  $O_2$  y elevado  $CO_2$  que agregado a los efectos de la refrigeración disminuyen significativamente la velocidad de los procesos metabólicos que ocasionan sobre madurez y deterioro de la calidad. Las atmósferas óptimas de  $O_2 + CO_2$  para las diferentes variedades de mango son bien conocidas e investigación nuestra ha determinado como el estado de madurez del fruto afecta su respuesta a las AM. Investigación previa realizada por nosotros ha indicado que los niveles óptimos de AM para mangos maduros son de 2-4% de  $O_2$  y 10-15% de  $CO_2$ . Sin embargo, mientras que los sistemas de AC están disponibles para contenedores marítimos estos tienen un precio elevado y además, la disponibilidad de contenedores de AC no es suficiente para manejar los altos volúmenes de exportación de mango. El uso de AM en mango se ha retrasado debido a la falta de disponibilidad de materiales de empaque que puedan alcanzar las atmósferas óptimas que requieren los frutos de mango. Sin embargo, recientemente se han identificado dos proveedores, TransFresh (Tectrol) y Apio (Breatheway), que de manera conjunta han desarrollado un sistema de AM a nivel de pallet, el cual está siendo usado comercialmente para exportar arándanos de Argentina a los Estados Unidos. Ellos facilitaron un sistema similar de AM diseñadas específicamente para mangos y que será usado en este proyecto de investigación.

La calidad del mango es altamente dependiente de la madurez del fruto a la cosecha. Los frutos que son cosechados demasiado temprano (inmaduros fisiológicamente) son más sensibles a los daños por tratamiento hidrotérmico y daño por frío (DF) y pueden sufrir pérdidas debido a que no alcanzan madurez de consumo o si maduran, su calidad sensorial es muy pobre. Por otro lado, cuando los frutos son cosechados en un estado de madurez muy avanzado, se reduce su vida de anaquel y por sobre madurez se incrementa la susceptibilidad a daños mecánicos y enfermedades (Brecht et al., 2010; Sivakumar et al., 2011).

El comercio internacional del mango está limitado debido a su naturaleza altamente perecedera y a su susceptibilidad al DF cuando se almacena a temperaturas menores a 13 °C. Mangos más maduros tienen mejor calidad sensorial y son menos sensibles al tratamiento hidrotérmico y al DF. Brecht et al. (2000) mostraron que el tratamiento hidrotérmico cuarentenario (USDA-APHIS, 2007) y otras combinaciones de tiempos y temperaturas redujeron la susceptibilidad de frutos de 'Tommy Atkins' y 'Keitt' al DF. Bender et al. (2000) mostraron que frutos de 'Tommy Atkins' y 'Keitt' pueden ser enviados por 2 a 3 semanas en AC a 8 °C para frutos maduros en el árbol o a 12 °C para frutos verde-maduros sin que se haya observado DF.

En el comercio internacional, la mayoría de los mangos son cosechados justo o antes de su madurez fisiológica y trasladados vía contenedores marítimos refrigerados con tiempos de tránsito de 2-3 semanas (Bender et al., 2000). Las grandes distancias de las regiones sudamericanas de mango para exportación a los Estados Unidos resultan en esos largos periodos de tránsito. Esto obliga a los exportadores a cosechar mangos bajos en madurez y además los envían a temperaturas bajas (7 a 9 °C) con la finalidad de evitar problemas al arribo, tales como sobre madurez, daños mecánicos y enfermedades. Sin embargo, esta práctica resulta en mangos de pobre calidad sensorial en los puntos de venta en Estados Unidos.

El gran reto es minimizar las pérdidas cualitativas y cuantitativas durante la cadena de suplemento de los mangos asegurando madurez adecuada. Las AM y AC pueden ser usadas para mantener y

extender la calidad de los mangos después de la cosecha. Por consiguiente, el adecuado control de la respiración utilizando empaques de AM puede resultar en frutos de alta calidad organoléptica. Mas, sin embargo, el control de estos procesos es dependiente del control de la temperatura en toda la cadena de tránsito del fruto desde Sudamérica hasta los Estados Unidos.

El objetivo de esta investigación fue demostrar la factibilidad de incorporar la tecnología de AM con contenidos óptimos de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en los sistemas existentes de manejo para mantener mejor la calidad de mangos fisiológicamente maduros para extender los periodos de tránsito requeridos desde Sudamérica hasta los Estados Unidos con el propósito de mejorar la calidad de los mangos disponibles para los consumidores. Se usaron temperaturas de 12.5 °C para el almacenamiento de estas pruebas aunque se sabe que mangos fisiológicamente maduros pueden tolerar temperaturas más bajas.

## **Materiales y Métodos**

*Preparación de frutos.* Frutos de 'Ataulfo', 'Tommy Atkins' y 'Kent' se obtuvieron de una empacadora comercial en Nayarit, México durante el mismo día que se preparaban para exportar. Una sub muestra de frutos se partió para determinar el grado de madurez a cosecha, usando una escala de 1 a 5 basada en el color interno de la pulpa, tal y como se describe en la "Guía para determinar la madurez del Mango" que se encuentra disponible en la página web del National Mango Board (<http://www.mango.org>). Los frutos fueron pre-seleccionados, sometidos a tratamiento hidrotérmico cuarentenario, hidrogenfriados, seleccionados por tamaño, empacados y enfriados en cámaras de aire forzado junto con los otros frutos para exportación. Las muestras de frutos fueron empacadas en bolsas de AM (Apio Breathway) o en bolsas plásticas perforadas (NOW, Testigo). Cada bolsa contenía aproximadamente 4 kg (8 a 10 frutos) y fueron colocadas en cajas estándares de cartón para enviarse en camiones comerciales refrigerados (Fig. 1).



Fig. 1. Frutos de 'Ataulfo' en bolsas perforadas testigo (Izq.) y frutos en bolsas de AM (derecha).

*Traslado.* Las pruebas de frutos fueron colocadas en camiones comerciales refrigerados durante el mismo día de su empacado en México para ser enviadas a un importador en Texas. Cada variedad se envió en un cargamento por separado. Un registrador de temperatura (HOB0 datalogger) se colocó en cada cargamento para monitorear las condiciones durante el traslado. Después de su arribo a Texas, los frutos fueron temporalmente almacenados en bodega refrigerada del Importador hasta que hubiese un camión disponible para su envío a la Universidad de Florida.

*Almacenamiento.* En Florida los frutos fueron mantenidos en cuarto frío a 12.5 °C hasta completar 3 semanas de simulación de traslado refrigerado desde Sudamérica hasta los Estados Unidos. Después de 3 semanas los frutos se transfirieron a 20 °C para su maduración. Las evaluaciones se realizaron a las 2 y 3 semanas de traslado/almacenamiento y después de 3 semanas por 3 días a temperatura de maduración. Muestras idénticas de los frutos de las tres variedades empacadas en AM o en bolsas perforadas se mantuvieron en cuarto frío a 12.5 °C en las instalaciones del INIFAP en Nayarit y esos frutos fueron evaluados a los mismos tiempos que los de Florida.

*Evaluación de calidad.*

Color de cáscara y color de pulpa. Se evaluaron objetivamente usando un Colorímetro Minolta con apertura de 8 mm y convertidos de la escala  $L^*a^*b^*$  al sistema de color  $L^*c^*h^*$  (Luminosidad, croma y ángulo de tono, respectivamente). Las mediciones se realizaron para cada fruto, con una medición hecha en el lado verde (para evitar el “rubor” rojo) en mangos ‘Tommy Atkins’ y ‘Kent’ y en ‘Ataulfo’ la medición se realizó en la región ecuatorial. Después de esto, los mangos se cortaron longitudinalmente a ambos lados del hueso para obtener dos mitades paralelas; en una de ellas se midió el color de pulpa.

Firmeza. Fue medida usando un Penetrómetro tipo Effe-gi con puntal de 8 mm de diámetro. Los resultados se midieron en libras-fuerza requeridas para que el puntal penetrara la pulpa y luego convertidos a Newtons (N). Para cada fruto, se realizaron dos mediciones en la parte ecuatorial después de remover la epidermis.

Daño por Frío (DF). Se evaluó en términos de desarrollo visual de síntomas, ablandamiento y pudrición, acorde a metodología utilizada en una investigación previa (Nunes et al., 2007). Los síntomas visuales de DF (oscurecimiento de lenticelas, picado de cáscara, escaldado y maduración irregular) fueron evaluados individualmente para cada fruto de mango utilizando la siguiente escala visual donde 1 = Severo, más del 50% de la superficie del fruto mostrando daño; 2 = Moderado, 25-50% de DF; 3 = Ligero, con un máximo de 25% de picado y/o escaldado; 4 = Trazas (pequeños hundimientos), 2-5% de la superficie del fruto mostrando daño; 5 = Sin daño.

Marchitamiento de fruto. Se midió utilizando una escala visual donde 1 = Extremadamente marchito, arrugado y seco, no aceptable bajo condiciones normales; 2 = Severo, definitivamente objetable; 3 = Moderado, marchitamiento evidente siendo objetable; 4 = Ligero, síntomas menores de marchitamiento, no objetable; 5 = Sin daño, fresca de campo sin síntomas de marchitamiento.

Severidad de enfermedades. Cada mango fue evaluado usando la escala visual modificada de Horsfall y Barratt (1945) en la cual 1 = 76-100% de enfermedad, pudrición severa a extrema (el fruto es parcial o totalmente podrido); 2 = 51-75% de enfermedad, pudrición moderada a severa; 3 = 26-50% de enfermedad, pudrición ligera a moderada (manchas de enfermedad y algún crecimiento de micelio); 4 = 1-25% de enfermedad, posible pudrición (algunas pequeñas manchas café-grisáceas); 5 = 0%, no enfermedad.

Oscurecimiento de pulpa. Cada fruto fue evaluado usando la siguiente escala en la cual 1 = 76-100% de área afectada; 2 = 51-75% de área afectada; 3 = 26-50% de área afectada; 4 = 1-25% de área afectada; 5 = 0% de área afectada. Cada fruto fue cortado longitudinalmente a ambos lados del hueso, obteniendo dos partes paralelas y entonces se evaluó el porcentaje de oscurecimiento interno.

Moretones, cicatrices y cortes. Cada fruto fue evaluado con base a la siguiente escala: 1 = daño severo; 2 = daño moderado; 3 = daño ligero; 4 = sin daño.

Aroma del fruto. Se evaluó en todas las bolsas Apio Breatheway de AM usando una escala donde 1 = aroma a inmaduro; 2 = aroma a maduración normal; 3 = sin aroma. El aroma fue evaluado al abrir las bolsas para determinar si había indicaciones de madurez, o desórdenes tales como fermentación o enfermedad.

Evaluación sensorial. Fue conducida por un grupo de cuatro expertos para 'Ataulfo' y 'Tommy Atkins' y de cinco expertos para 'Kent', todos personal experimentado del grupo del Laboratorio Postcosecha. Cada fruto fue cortado longitudinalmente en mitades, con una de las mitades utilizadas para análisis físicos y composicionales. La otra mitad fue cortada en rebanadas y puesta en un contenedor clamshell de 50 ml con tapa, el cual fue cerrado por 3 min para permitir la acumulación en el espacio. Entonces los panelistas abrieron los contenedores y evaluaron las muestras para descriptores de aroma seguidos por sabor. Los descriptores de sabor fueron aroma, sabor, color amarillo, madurez y aceptación general usando una escala de 9 puntos donde 1 = extremadamente desagradable; 5 = agradable o no agradable y 9 = extremadamente agradable.

Análisis composicionales. Réplicas de muestras compuestas de pulpa de cada tratamiento fueron centrifugadas y el supernadante congelado a  $-20^{\circ}\text{C}$  para posteriormente medir el contenido de sólidos solubles totales ( $^{\circ}\text{Bx}$ ), pH y acidez titulable total.

Medición de la atmósfera. Las concentraciones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  en cada bolsa Apio Breatheway sellada de las AM fue cuantificada con un analizador de gases (modelo 900141; Bridge Analyzers; Sensor de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  EGA&MAP 20% Max). El analizador calibrado fue verificado dentro de  $\pm 4\%$  exactitud de la autenticidad de estándares de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ . La atmósfera del empaque fue medido a su llegada a la Universidad de Florida y posteriormente diariamente hasta completar tres semanas de almacenamiento a  $12.5^{\circ}\text{C}$ . Aguja hipodérmica conectada a la entrada y salida del analizador fueron insertadas en el lado opuesto de cada bolsa. Una pieza de cinta adhesiva fue usada para cerrar el hoyo de la bolsa para la siguiente medición.

Diseño experimental y análisis estadístico. Los experimentos fueron conducidos utilizando un diseño Completamente al Azar con el número de frutos descritos anteriormente. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete SAS para PC (SAS Institute Inc., Cary, N.C.) con los datos sujetos a análisis de varianza (PROC ANOVA) y valores de DMS calculados con una  $P = 0.05$ . El análisis estadístico fue independiente para cada variedad.

## **Resultados y Discusión**

Durante el proceso de las pruebas los frutos en las empacadoras de Nayarit fueron manipulados a temperaturas de  $23$  to  $28^{\circ}\text{C}$ . Durante el traslado en camiones refrigerados la temperatura dentro de los paletas permaneció entre  $8$  a  $10^{\circ}\text{C}$  para 'Ataulfo',  $9$  a  $11^{\circ}\text{C}$  para 'Tommy Atkins' y  $9$  a  $13^{\circ}\text{C}$  para 'Kent'.

El promedio de madurez inicial para los frutos de mango fue estado 3.0 para 'Ataulfo', 2.5 para 'Tommy Atkins' y 3.1 para 'Kent'. Los correspondientes valores de SST fueron de 11.4, 9.6 y  $9.3^{\circ}\text{Bx}$ , respectivamente.

A su llegada a la Universidad de Florida, la atmósfera de las bolsas de AM fue: 'Ataulfo',  $2.0\% \text{O}_2 + 14.6\% \text{CO}_2$ , 'Tommy Atkins',  $3.6\% \text{O}_2 + 6.4\% \text{CO}_2$  y 'Kent',  $4.9\% \text{O}_2 + 10.9\% \text{CO}_2$ .

Después de dos semanas, las atmósferas fueron: 'Ataulfo', 4.6% O<sub>2</sub> + 15.7% CO<sub>2</sub>, 'Tommy Atkins', 10.6% O<sub>2</sub> + 7.3% CO<sub>2</sub> y 'Kent', 5.3% O<sub>2</sub> + 11.3% CO<sub>2</sub>.

Después de tres semanas, las atmósferas fueron: 'Ataulfo', 4.7% O<sub>2</sub> + 13.1% CO<sub>2</sub>, 'Tommy Atkins', 3.6% O<sub>2</sub> + 11.4% CO<sub>2</sub> y 'Kent', 8.9% O<sub>2</sub> + 9.0% CO<sub>2</sub>.

Después de tres semanas de simulación de traslado a largas distancias, representando las "condiciones de llegada", los indicadores de madurez mostraron que las AM disminuyeron la madurez del fruto (**Cuadro 1**). Para 'Ataulfo' los valores de madurez en AM permanecieron prácticamente sin cambio, en tanto que para los testigos disminuyeron; sin embargo, los valores de madurez no fueron afectados por las AM para 'Tommy Atkins' y 'Kent'. La firmeza de fruto se mantuvo alta en AM para todas las variedades. Los Sólidos Solubles no fueron afectados por las AM en 'Ataulfo' pero se mantuvieron menores en AM para 'Tommy Atkins' y 'Kent'. La acidez titulable (AT) fue mantenida a niveles altos para todas las variedades.

La luminosidad (L\*) y el croma (C\*) de la cáscara de los frutos fue baja en tanto que el ángulo de tono (h) fue mayor para frutos manejados bajo AM (**Cuadro 2**). Esto corresponde a pérdida reducida del color verde que normalmente acompaña a la madurez del fruto de mango. La luminosidad y el ángulo de tono de la pulpa disminuyeron en tanto que el croma se incrementó con el almacenamiento, más en aire que en AM, indicando mayor oscurecimiento y color naranja más vívido en aire (**Cuadro 3**). Todos estos resultados indican que las AM inhibieron los cambios de color asociados con la madurez. Los frutos de todos los tratamientos completaron su madurez normal cuando fueron transferidos a 20 °C en atmósfera de aire.

**Cuadro 1.** Indicadores de madurez para AM y atmósfera normal de frutos de 'Ataulfo', 'Tommy Atkins' y 'Kent' después de traslado y almacenamiento para un total de tres semanas.

|                      |      | Valor Madurez     | Firmeza |       | SST (Brix) | AT    |
|----------------------|------|-------------------|---------|-------|------------|-------|
|                      |      | (1-5)             | (lbs)   | (N)   | (%)        | (%)   |
| <b>Ataulfo:</b>      | Aire | 3.9a <sup>z</sup> | 4.7b    | 20.9b | 19.6a      | 0.78b |
|                      | AM   | 2.9b              | 7.9a    | 35.1a | 19.4a      | 1.18a |
| <b>Tommy Atkins:</b> | Aire | 3.3a              | 4.4b    | 19.6b | 14.4a      | 0.55b |
|                      | AM   | 3.1a              | 6.1a    | 27.1a | 13.5b      | 0.62a |
| <b>Kent:</b>         | Aire | 4.2a              | 5.5b    | 24.4b | 15.2a      | 0.30b |
|                      | AM   | 4.0a              | 6.8a    | 30.2a | 13.7b      | 0.60a |

<sup>z</sup> Promedios de tratamientos en pares seguidos por la misma letra minúscula dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey  $p < 0.05$ )

**Cuadro 2:** Efecto del empaclado en AM sobre el color de cascara, Luminosidad (L), croma (C) ángulo de tono (h) para frutos de ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’ y ‘Kent’.

| Cultivar     | Tratamiento | Periodo de almacenamiento |        |         |           |        |         |                    |        |        |
|--------------|-------------|---------------------------|--------|---------|-----------|--------|---------|--------------------|--------|--------|
|              |             | 2 semanas                 |        |         | 3 semanas |        |         | 3 semanas + 3 días |        |        |
|              |             | L*                        | C*     | h       | L*        | C*     | h       | L*                 | C*     | h      |
| Ataulfo      |             |                           |        |         |           |        |         |                    |        |        |
|              | Aire        | 68.4Ba <sup>z</sup>       | 53.0Ba | 85.7Ab  | 77.9Aa    | 59.3Aa | 82.4Ab  | 68.8Ba             | 57.2Aa | 77.7Bb |
|              | AM          | 64.3Cb                    | 46.9Bb | 95.5Aa  | 73.7Ab    | 53.2Ab | 93.8Aa  | 68.2Ba             | 53.2Ab | 83.9Ba |
|              | CV (%)      |                           |        |         |           |        |         | 2.4                | 3.3    | 2.7    |
| Promedio     |             |                           |        |         |           |        |         | 70.2               | 53.8   | 86.5   |
| Tommy Atkins |             |                           |        |         |           |        |         |                    |        |        |
|              | Aire        | 60.2Ba                    | 39.0Ca | 73.7Ab  | 69.7Aa    | 45.2Aa | 71.6Ab  | 62.5Ba             | 41.8Ba | 72.7Aa |
|              | AM          | 57.6Ba                    | 35.3Bb | 83.2Aa  | 66.4Ab    | 39.9Ab | 82.1Aa  | 58.5Bb             | 38.7Ab | 76.3Aa |
|              | CV (%)      |                           |        |         |           |        |         | 2.9                | 3.2    | 7.8    |
| Promedio     |             |                           |        |         |           |        |         | 62.5               | 40.0   | 76.6   |
| Kent         |             |                           |        |         |           |        |         |                    |        |        |
|              | Aire        | 51.5Ca                    | 32.2Ca | 108.9Aa | 54.3Ba    | 35.8Ba | 95.9Bb  | 57.8Aa             | 41.4Aa | 93.8Ba |
|              | AM          | 49.1Bb                    | 28.1Bb | 112.1Aa | 40,2Bb    | 29.8Bb | 107.9Aa | 55.5Ab             | 37Ab   | 99.5Ba |
|              | CV (%)      |                           |        |         |           |        |         | 2.5                | 5.1    | 5      |
| Promedio     |             |                           |        |         |           |        |         | 52.9               | 34     | 103    |

<sup>z</sup>Promedios seguidos de la misma letra mayúscula en filas y minúsculas en columnas no difieren estadísticamente (Tukey  $p < 0.05$ )



**Cuadro 3:** Efecto de las AM sobre el color de pulpa luminosidad (L), croma (C), y ángulo de tono (h) para frutos de ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’ y ‘Kent’.

| Cultivar        | Tratamiento | Periodo de almacenamiento |         |        |           |        |         |                    |        |        |
|-----------------|-------------|---------------------------|---------|--------|-----------|--------|---------|--------------------|--------|--------|
|                 |             | 2 semanas                 |         |        | 3 semanas |        |         | 3 semanas + 3 días |        |        |
|                 |             | L*                        | C*      | h      | L*        | C*     | h       | L*                 | C*     | h      |
| Ataulfo         |             |                           |         |        |           |        |         |                    |        |        |
|                 | Aire        | 75.5Ba <sup>z</sup>       | 64.5Ba  | 84.5Ab | 80.5Ab    | 73.2Aa | 81.6 Bb | 71.4Ca             | 63.6Ba | 81.6Bb |
|                 | AM          | 77.6Ba                    | 62.7Ba  | 86.3Aa | 83.7Aa    | 72.5Aa | 85.0 Aa | 73.2Ca             | 61.5Ba | 85.5Aa |
|                 | CV (%)      |                           |         |        |           |        |         | 2.6                | 3.7    | 1.0    |
| Promedio        |             |                           |         |        |           |        |         | 76.9               | 66.3   | 84     |
| Tommy<br>Atkins |             |                           |         |        |           |        |         |                    |        |        |
|                 | Aire        | 70.0Ba                    | 63.9Ba  | 83.3Ab | 76.0Aa    | 67.4Aa | 82.9Ab  | 68.3Ba             | 63.4Ba | 83.4Ab |
|                 | AM          | 71.2Ba                    | 63.3Ba  | 85.2Aa | 77.7Aa    | 67.9Aa | 85.2Aa  | 69Ba               | 61.3Ba | 85.2Aa |
|                 | CV (%)      |                           |         |        |           |        |         | 2.4                | 2.4    | 1.2    |
| Promedio        |             |                           |         |        |           |        |         | 72                 | 64.5   | 84.2   |
| Kent            |             |                           |         |        |           |        |         |                    |        |        |
|                 | Aire        | 75.1Aa                    | 58.0Ba  | 88.5Aa | 71.9Bb    | 57.9Ba | 86.8Ab  | 71.8Ba             | 69.7Aa | 87.8Ab |
|                 | AM          | 75.9Aa                    | 59.5ABa | 88.6Ba | 73.9Ba    | 57.0Ba | 88.9 Ba | 70.9Ca             | 62.2Ab | 91.0Aa |
|                 | CV (%)      |                           |         |        |           |        |         | 1.2                | 2.9    | 1.2    |
| Average         |             |                           |         |        |           |        |         | 73.3               | 60.7   | 88.6   |

<sup>z</sup>Promedios seguidos de la misma letra mayúscula en filas y minúsculas en columnas no difieren estadísticamente (Tukey  $p < 0.05$ )

Los resultados para firmeza y estado de madurez de fruto (**Cuadro 4**) corroboran los resultados del color de pulpa. En ‘Ataulfo’ el ablandamiento y desarrollo del color de pulpa fueron más lentos en AM que en aire. El estado de madurez permaneció más bajo en AM para ‘Tommy Atkins’ y ‘Kent’ pero no afectó el ablandamiento de frutos de estas variedades. Estos resultados también muestran que los frutos de todas las variedades completaron su proceso normal de maduración cuando fueron transferidos a 20 °C en aire.

**Cuadro 4.** Efecto de los empacados en AM sobre la firmeza (N) y valores de maduración (escala de 1 a 5) para frutos de ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’ y ‘Kent’.

| Cultivar     | Tratamiento | Periodo de almacenamiento |                         |             |                         |                    |                         |
|--------------|-------------|---------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
|              |             | 2 semanas                 |                         | 3 semanas   |                         | 3 semanas + 3 días |                         |
|              |             | Firmeza (N)               | Estado de madurez (1-5) | Firmeza (N) | Estado de madurez (1-5) | Firmeza (N)        | Estado de madurez (1-5) |
| Ataulfo      | Aire        | 10.9 Ab                   | 3.8 Ba                  | 10.9 Ab     | 4.8 Aa                  | 8.0 Ab             | 5.0 Ab                  |
|              | AM          | 28.2 Aa                   | 3.3 Bb                  | 20.6 Ba     | 3.8 Ab                  | 18.8 Ba            | 4.1 Aa                  |
| CV (%)       |             |                           |                         |             |                         | 25.6               | 7                       |
| Promedio     |             |                           |                         |             |                         | 16.3               | 4.1                     |
| Tommy Atkins | Aire        | 23.5 Aa                   | 4.1 Aa                  | 21.9 Aa     | 4.4 Aa                  | 15.8 Aa            | 4.6 Aa                  |
|              | AM          | 25.5 Aa                   | 3.7 Ab                  | 24.8 Aa     | 3.7 Ab                  | 12.1 Ba            | 4.1 Ab                  |
| CV (%)       |             |                           |                         |             |                         | 33.8               | 6.3                     |
| Promedio     |             |                           |                         |             |                         | 20.6               | 4.1                     |
| Kent         | Aire        | 69.1 Aa                   | 2.9 Ca                  | 38.5 Ba     | 3.5 Ba                  | 16.5 Ca            | 4.4 Aa                  |
|              | AM          | 44.3 Ab                   | 2.8 Ba                  | 46.6 Aa     | 2.9 Aa                  | 15.3 Ba            | 3.5 Ab                  |
| CV (%)       |             |                           |                         |             |                         | 24                 | 9.2                     |
| Promedio     |             |                           |                         |             |                         | 38.4               | 3.3                     |

<sup>a</sup>Promedios seguidos de la misma letra mayúscula en filas y minúsculas en columnas no difieren estadísticamente (Tukey  $p < 0.05$ )

Los frutos de ‘Ataulfo’ y ‘Kent’ en AM mantuvieron valores más bajos de SS y pH y más altos de AT que los frutos almacenados en aire, indicando que la AM disminuyeron la velocidad de madurez del fruto (**Cuadro 5**). Sin embargo, hubo poco efecto de los tratamientos sobre los SS, pH y AT para frutos de ‘Tommy Atkins’.

**Cuadro 5.** Efecto de las AM sobre el contenido de sólidos solubles (SS; °Brix), pH y Acidez Titulable (AT) expresada como % de ácido cítrico de frutos de ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’ y ‘Kent’.

| Cultivar     | Tratamiento | Periodo de almacenamiento |       |        |           |       |        |                    |        |        |
|--------------|-------------|---------------------------|-------|--------|-----------|-------|--------|--------------------|--------|--------|
|              |             | 2 semanas                 |       |        | 3 semanas |       |        | 3 semanas + 3 días |        |        |
|              |             | SS                        | pH    | AT     | SS        | pH    | AT     | SS                 | pH     | AT     |
| Ataulfo      |             |                           |       |        |           |       |        |                    |        |        |
|              | Aire        | 18.8Aa <sup>z</sup>       | 3.5Ca | 1.6Aba | 19.3Aa    | 3.8Ba | 0.9Bb  | 19.2Aa             | 4.2Aa  | 0.5Cb  |
|              | AM          | 15.6Ab                    | 3.3Ab | 2.2Aa  | 16.6Ab    | 3.3Ab | 1.9Ba  | 17.0Ab             | 3.4Ab  | 1.6Ba  |
| CV (%)       |             |                           |       |        |           |       |        | 5.2                | 3.3    | 14.8   |
| Promedio     |             |                           |       |        |           |       |        | 17.7               | 3.6    | 1.4    |
| Tommy Atkins |             |                           |       |        |           |       |        |                    |        |        |
|              | Aire        | 15.7Aa                    | 4.2Aa | 0.4Aa  | 14.8Aa    | 3.9Bb | 0.5Aa  | 14.3Ba             | 4.1ABb | 0.4Aa  |
|              | AM          | 14.7Aa                    | 4.1Aa | 0.4Aa  | 14.6Aa    | 4.1Aa | 0.4Ab  | 14.9Aa             | 4.2Aa  | 0.35Ab |
| CV (%)       |             |                           |       |        |           |       |        | 5.2                | 2.4    | 14.7   |
| Promedio     |             |                           |       |        |           |       |        | 14.8               | 4.1    | 0.4    |
| Kent         |             |                           |       |        |           |       |        |                    |        |        |
|              | Air         | 14.3Aa                    | 3.8Bb | 0.8Aa  | 15.0Aa    | 3.8Bb | 0.9Aa  | 14.9Aa             | 4.4Aa  | 0.5Ba  |
|              | MAP         | 12.3Bb                    | 4.3Aa | 0.7Ab  | 13.5ABb   | 4.2Aa | 0.7ABb | 14.6Aa             | 4.4Aa  | 0.5Ba  |
| CV (%)       |             |                           |       |        |           |       |        | 5.6                | 2.9    | 9.6    |
| Promedio     |             |                           |       |        |           |       |        | 14.1               | 4.1    | 0.7    |

<sup>z</sup>Promedios seguidos de la misma letra mayúscula en filas y minúsculas en columnas no difieren estadísticamente (Tukey  $p < 0.05$ )

Hubo poca o ninguna evidencia de DF, enfermedad u oscurecimiento de pulpa en frutos de ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’ o ‘Kent’ durante el periodo de transporte simulado, con excepción del oscurecimiento de pulpa de frutos de ‘Ataulfo’ después de 3 semanas + 3 días a 20 °C (**Cuadro 6**). En el último caso, los frutos de ‘Ataulfo’ almacenados en aire fueron la mayoría afectados por “corte negro” con el oscurecimiento aparente de un promedio de aproximadamente 25% de los frutos en tanto que la pulpa de los frutos almacenados bajo AM no presentó daño de corte negro (**Fig. 2**).

**Cuadro 6.** Efecto de las AM sobre el Daño por Frío (DF), enfermedad y oscurecimiento de pulpa en frutos de 'Ataulfo', 'Tommy Atkins' y 'Kent'.

| Cultivar        | Tratamiento | Periodo de almacenamiento |                |                                |           |                |                                |                    |                |                                |
|-----------------|-------------|---------------------------|----------------|--------------------------------|-----------|----------------|--------------------------------|--------------------|----------------|--------------------------------|
|                 |             | 2 semanas                 |                |                                | 3 semanas |                |                                | 3 semanas + 3 días |                |                                |
|                 |             | (DF)                      | Enferm<br>edad | Oscureci<br>miento de<br>pulpa | (DF)      | Enferm<br>edad | Oscureci<br>miento de<br>pulpa | (DF)               | Enferm<br>edad | Oscureci<br>miento de<br>pulpa |
| Ataulfo         | Aire        | 4.7Aa <sup>z</sup>        | 4.9Aa          | 5.0Aa                          | 4.6Aa     | 4.9Aa          | 4.7Aa                          | 4.7Aa              | 4.3Bb          | 3.6Bb                          |
|                 | AM          | 4.7Aa                     | 4.9Aa          | 5.0Aa                          | 4.8Aa     | 4.9Aa          | 5.0Aa                          | 4.6Aa              | 4.9Aa          | 4.9Aa                          |
|                 | CV (%)      |                           |                |                                |           |                |                                | 4.4                | 2.1            | 6.2                            |
| Promedio        |             |                           |                |                                |           |                |                                | 4.7                | 4.8            | 4.7                            |
| Tommy<br>Atkins | Aire        | 4.8Aa                     | 4.9Aa          | 5.0Aa                          | 4.7Aa     | 4.5Aba         | 5.0Aa                          | 4.7Aa              | 4.4Ba          | 5.0Aa                          |
|                 | AM          | 4.9Aa                     | 4.9Aa          | 5.0Aa                          | 4.7Aa     | 4.7Aa          | 5.0Aa                          | 4.6Aa              | 4.2Ba          | 5.0Aa                          |
|                 | CV (%)      |                           |                |                                |           |                |                                | 4.2                | 5.1            | 0.0                            |
| Promedio        |             |                           |                |                                |           |                |                                | 4.7                | 4.6            | 5.0                            |
| Kent            | Air         | 4.2Aa                     | 5.0Aa          | 18.7Aa                         | 3.7ABb    | 4.8Aa          | 5.0Aa                          | 3.4Ba              | 4.7Aa          | 5.0Aa                          |
|                 | MAP         | 4.2Aa                     | 4.7Aa          | 15.6Aa                         | 4.4Aa     | 5.0Aa          | 5.0Aa                          | 3.3Ba              | 4.9Aa          | 5.0Aa                          |
|                 | CV (%)      |                           |                |                                |           |                |                                | 11.3               | 4.6            | 0.0                            |
| Promedio        |             |                           |                |                                |           |                |                                | 3.8                | 4.9            | 5.0                            |

<sup>z</sup>Promedios seguidos de la misma letra mayúscula en filas y minúsculas en columnas no difieren estadísticamente (Tukey  $p < 0.05$ )

**Fig. 2.** Corte negro en frutos de mango 'Ataulfo' transportados desde Nayarit, México a Florida, USA después de 3 semanas en Aire o AM a 9-12 °C + 3 días en Aire a 20 °C.



El análisis sensorial de frutos de mango ‘Ataulfo’ reveló diferencias significativas para apariencia (desarrollo del color amarillo), madurez, aceptación general y sabor entre tratamientos (**Cuadro 7**). Los Panelistas indicaron que los frutos de ‘Ataulfo’ empacados en AM tuvieron mejor apariencia, mejor sabor y mayor aceptación general que los frutos almacenados en aire. Para ‘Tommy Atkins’ los Panelistas consideraron que los frutos almacenados bajo AM tuvieron mejor aroma y apariencia. Para ‘Kent’ los Panelistas consideraron que los frutos de AM tuvieron mejor sabor que los frutos testigo. Para ambos frutos de ‘Tommy Atkins’ y ‘Kent’ los valores de sabor y aceptación general fueron substancialmente mayores para frutos en AM, pero a diferencia de ‘Ataulfo’, no se detectaron diferencias significativas entre frutos almacenados en AM y Aire.

**Cuadro 7.** Evaluación sensorial de calidad de frutos de ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’ y ‘Kent’ después de traslado/almacenamiento a 9 a 12.5 °C por 21 días + 3 días de vida de anaquel a 20 °C.\*

| <b>Cultivar</b>     | <b>Trata<br/>miento</b> | <b>Aroma<sup>z</sup></b> | <b>Sabor</b> | <b>Apariencia<br/>(color amarillo)</b> | <b>Aceptación<br/>General</b> |
|---------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|----------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Ataulfo</b>      | <b>Aire</b>             | 4.73 a                   | 3.09 b       | 1.23 b                                 | 3.87 b                        |
|                     | <b>AM</b>               | 5.57 a                   | 6.20 a       | 7.03 a                                 | 7.02 a                        |
| <b>Tommy Atkins</b> | <b>Aire</b>             | 5.12 b                   | 5.62 a       | 5.85 b                                 | 5.71 a                        |
|                     | <b>AM</b>               | 8.02 a                   | 7.10 a       | 7.45 a                                 | 7.14 a                        |
| <b>Kent</b>         | <b>Aire</b>             | 5.62 a                   | 4.79 b       | 7.30 a                                 | 4.61 a                        |
|                     | <b>AM</b>               | 5.77 a                   | 7.30 a       | 8.25 a                                 | 7.10 a                        |

\* Promedios de tratamientos en pares seguidos por la misma letra minúscula dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey  $p < 0.05$ )

<sup>z</sup> 9-Puntos escala hedónica donde 1 = extremadamente desagradable; 5 = agradable o no agradable y 9 = extremadamente agradable.

## Conclusiones

- Las AM desarrolladas se mantuvieron muy cercanas al rango de AM buscado 2-4% O<sub>2</sub> + 10-15% CO<sub>2</sub> para mangos completamente maduros. Esto necesitará ser afinado para cada variedad de mango en pruebas futuras.
- La calidad de fruto fue mejor mantenida por las AM que al Aire durante 3 semanas de simulación de traslado + 3 días de anaquel, debido a que éstas disminuyeron la velocidad del proceso de maduración.
- Las AM prácticamente eliminaron los síntomas de “corte negro” en ‘Ataulfo’.
- Estos resultados garantizan el escalamiento a pruebas comerciales de envíos de mangos con diferentes estados de madurez de Sudamérica a los Estados Unidos.

Basados en esta prueba preliminar, proponemos se pruebe el sistema de AM Tectrol/Breatheway a nivel de pallets en múltiples envíos comerciales de mango de los países exportadores a Florida usando diferentes variedades a diferentes estados de madurez bajo diferentes escenarios de manejo y enfriamiento aplicados antes de cubrir los pallets con AM así como utilizando o no absorbedores de etileno dentro de las AM. En esas pruebas, un pallet de mango será manejado bajo

AM y el resto serán empacados y manejados de manera tradicional. La calidad de varios cartones de frutos provenientes de testigos y de AM en cada envío será evaluada en la Universidad de Florida, a su llegada y después de maduración.