

## **ESTUDIOS PARA LA DETERMINACIÓN Y CONTROL DE LA PRESENCIA DE CAVIDADES EN LA PULPA DEL FRUTO DEL MANGO.**

# **REPORTE TEMPORADA 2022**

**DR. REGINALDO BÁEZ SAÑUDO**

*Centro de Desarrollo, Validación y Transferencia de Tecnología de Gestoría Agroalimentaria, S.A. de C.V.*

E-mail: [reginaldo.baez@gestagro.com.mx](mailto:reginaldo.baez@gestagro.com.mx), [gestagro@gestagro.com.mx](mailto:gestagro@gestagro.com.mx), [rebasa@hmo.megared.net.mx](mailto:rebasa@hmo.megared.net.mx)

**Proyecto Financiado por National Mango Board (NMB)**

*Hermosillo, Sonora. México a Octubre, 28 de 2022*

## **ESTUDIOS PARA LA DETERMINACIÓN Y CONTROL DE LA PRESENCIA DE CAVIDADES EN LA PULPA DEL FRUTO DEL MANGO.**

### **INTRODUCCIÓN**

La presencia de cavidades en la pulpa del mango se ha venido presentando con mayor frecuencia y severidad en los últimos años. Este desorden fisiológico se presenta con mayor frecuencia en los mangos de la variedad 'Ataulfo', seguidos de las variedades 'Tommy Atkins' y 'Kent'. Este desorden identificado por Gregorio Luna y cols. 2006; como daño por "tejido seco" que se caracteriza por la presencia de áreas donde el tejido se colapsa y deja fibras de color blanquecino que indican muerte de células, principalmente en el endocarpio de frutos maduros, sin detectarse externamente. Aunque estos mismos autores (Gregorio Luna y cols. 2006) consideran que el desorden se presenta en frutos con o sin tratamiento hidrotérmico, aunque éste último lo acentúa. Por ello, se ha considerado un desorden fisiológico que es diferente a 'tejido esponjoso' (spongy tissue) que ha sido descrito en otros cultivares de mango y que se confunde con este daño; recomendando hacer más investigación a este respecto. Esta determinado (Shivashankar, S. 2014) que los eventos previos a la cosecha que conducen al trastorno del tejido esponjoso en 'Alphonso' depende del inicio de eventos asociados a la germinación en la semilla (aparente viviparidad) y su manejo está relacionado con la regulación a la baja de la actividad de la semilla sin afectar el crecimiento de la fruta. Este desorden es muy diferente a la presencia de cavidades o tejido muerto en la pulpa del mango. Aunque Gregorio Luna y Cols. (2006) consideran que el síntoma de "tejido seco" no se asoció con el tratamiento hidrotérmico, lo que sugeriría ser un desorden de origen fisiológico. Está descrito (Postharvest handling of mango. University of California – Davis. Postharvest Technology. 2014). que con el tratamiento hidrotérmico a 115°F en mangos fisiológicamente maduros su metabolismo se acelera, pero la fruta no puede absorber oxígeno (estando bajo el agua), por lo que comienza a fermentar, lo que genera dióxido de carbono y alcohol. Sin escapatoria, el dióxido de carbono se acumula, creando eventualmente agujeros como los que se forman en el mango con cavidades. El agua caliente inhibe las enzimas que provocan la reacción de conversión del almidón a azúcares simples, por lo que el mango nunca alcanza la maduración completa, y a pesar de las apariencias de las cavidades, que se forman por el gas y alcohol formando burbujas con las membranas que se revientan y sale como vapor, no tienen ningún efecto en el sabor del fruto o el resto del mesocarpio o pulpa, pudiendo sólo ser un poco más insípido. Estas cavidades y por estas condiciones se han observado en imágenes por resonancia magnética en donde Daryl C. Joyce y cols. 1993. Estos autores describen que las cavidades internas y las regiones almidonadas que caracterizan la lesión del mesocarpio inducida por el calor son evidentes. Mencionando que tratamientos térmicos particularmente en ausencia de 'acondicionamiento' previo, causa trastornos de la piel y el mesocarpio. Durante el proceso de maduración puede ocurrir como una aparente lesión por calor alrededor de los rastros vasculares porque forman una red para la transferencia rápida de calor y / o retienen el calor por más tiempo que las células circundantes. Alternativamente, las células que rodean los rastros pueden ser especialmente susceptibles a las lesiones por calor. Posteriormente, esta área no se expande, más bien, colapsa a medida que la fruta madura. Los bajos niveles de agua sugeridos por las grandes regiones negras en el mesocarpio observadas en las imágenes de Resonancia Magnética de la fruta de mango tratada térmicamente se relacionaron con vacíos llenos de aire y áreas con almidón (como lo muestra la tinción de almidón y yodo (Reid et al., 1982)). Las

regiones con almidón generalmente rodean vacíos grandes y pequeños, y puede ser que, a medida que el tejido circundante madura (hidrólisis del almidón a azúcar), el agua se redistribuya lejos de estas áreas a regiones adyacentes de menor potencial osmótico. Los vacíos presumiblemente se forman donde las células son colapsadas por el calor, mientras que las regiones con almidón pueden representar un efecto diferencial de la hidrólisis del almidón como un proceso particularmente sensible a las lesiones por calor. En ausencia de tratamiento térmico no se percibió ningún daño en mesocarpio. Ello coincide con las observaciones realizadas en las empacadoras de mango que, al seccionar los frutos como medida cuarentenaria, no se observan los síntomas en frutos provenientes de campo y que se someterán al tratamiento hidrotérmico. Es por ello que se pretende someter frutos a diferentes acondicionamientos antes del tratamiento cuarentenario (115°F durante 60, 75, 90 o 110 minutos) para determinar la susceptibilidad al desarrollo de las cavidades o colapso celular en la pulpa de los frutos de mango por efecto de los choques térmicos en la fruta.

## **OBJETIVOS**

- 1) Evaluar el acondicionamiento de la fruta pre y post tratamiento hidrotérmico sobre el desarrollo de cavidades en la pulpa del fruto
- 2) Evaluar las condiciones de los tiempos de tratamiento hidrotérmico cuarentenario y el hidrogenfriado sobre el desarrollo de cavidades en la pulpa de los frutos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### *Material vegetal*

Se emplearon frutos de mango de la variedad Ataulfo recién cosechados, en estado de madurez sazón (maduro fisiológicamente). Toda la fruta utilizada para el experimental provino de la huerta Lagunitas, con el registro HUE-06-18-017-3040 del SENASICA propiedad del Sr. Lucio González Hernández. La fruta se cosechó el 11 de Julio del 2022 identificándose en la empacadora como el lote 0791 con 103 cajas en total (Cajas de 20 kilogramos aproximadamente). Para la realización de los diferentes tratamientos, se tomaron 30 cajas de fruta que se identificaron con diferente color de caja al resto del lote o fruta que ingresa al empaque. Los tratamientos se describen a continuación y fueron realizados en las instalaciones de la empacadora Naturamex, localizada en el ejido 5 de Mayo; carretera Tepic-San Blas, Nayarit, México.

Independientemente de los tratamientos realizados, todos los frutos pasaron al proceso de lavado, limpieza, selección de fruta libre de daños evidentes y clasificados por peso para el tratamiento cuarentenario de 75 minutos con inmersión en agua caliente a 115 °F (46.1 °C). Posteriormente, los frutos fueron envasados en cajas plásticas de rejilla con dimensiones de 55.5x38.0x33.0 cm (Figuras 1A hasta E), realizando pallets de 45 cajas cada uno (Figura 1F). El siguiente procedimiento es el tratamiento hidrotérmico (Figura G), luego la fruta pasa al hidrogenfriamiento (Figura H), para finalizar con envasado del mango en cajas de cartón. Las cajas de diferente color con fruta de los tratamientos se introdujeron en los pallets para recibir el tratamiento hidrotérmico correspondiente.



**Figura 1.** Diferentes etapas por las que transita el mango Ataulfo dentro de la empacadora.

*Muestreo durante el empacado*

En el cuadro 1 se presentan las condiciones que recibió cada muestra colectada según el proceso, así como las condiciones del reposo de los tratamientos T2 al T7 para uno y dos días en la empacadora. Los frutos testigo (T) fueron muestreados directamente de recepción, sin darle ningún tipo de tratamiento. Los mangos etiquetados con T2, T3 y T4 después de recibirlos, entraron al proceso al siguiente día (24 horas) de recibidos; mientras que T5, T6 y T7 se mantuvieron en reposo y fue hasta después de 2 días (48 horas) que entraron al proceso. Para cada tratamiento se utilizaron hasta 4 cajas de plástico distribuidas en diferentes zonas del pallet que recibió tratamiento hidrotérmico (Figura 1 F).

**Cuadro 1.** Distribución de los tratamientos de acuerdo a los puntos muestreados en el proceso de empacado de mango Ataulfo.

Tratamiento	Inicio de procesado (días)		Procesado					
	0	1	2	Lavado y selección	Hidrotérmico (115 °F)		Reposo	Hidroenfriamiento (75 °F)
				75 min	+10 min	30 min	30 min	
T	█							
T2		█		1*				
T3		█		1				
T4		█		1				
T5			█	2				
T6			█	2				

T7

2

\*Lavado y selección se realizó al día siguiente de recibida la fruta de campo (1 días) para T2 a T4 y a los 2 días para T5 a T7.

### *Evaluaciones realizadas*

Las pruebas se realizaron cada 3 días a Temperatura Ambiente (TA). El tiempo inicial fue dependiente de los momentos en que se aplicaron de los tratamientos. Se tomaron muestras desde el día del tratamiento hasta los 15 días en condiciones de maduración o mercadeo ( $22-25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). El número de repeticiones (n) fue diferente entre las pruebas, siendo el mínimo de 4 repeticiones por día de muestreo en cada tratamiento.

**Densidad del fruto.** Para ello, se registró individualmente el peso de 4 frutos en una balanza digital Rhino (BAPRE-3, USA) de  $3\text{ kg} \pm 0.2\text{ g}$  en cada tratamiento. Enseguida, cada fruto se sumergió en un recipiente conteniendo agua libre de impurezas. Se marcó el nivel inicial del agua en el recipiente antes de introducir el fruto. En cada prueba se cuidó que los frutos se mantuvieran por debajo del nivel del agua antes de marcar el volumen de desplazamiento tomando como referencia el nivel inicial del agua sin el fruto. En la siguiente medición se revisó que se mantuviera el nivel inicial del agua y de hacer falta se completó agregando más agua. El volumen de desplazamiento se obtuvo mediante la diferencia del nivel del agua con el fruto y el nivel inicial del agua en el recipiente. Dicho volumen fue medido con una probeta graduada en mL para una mayor precisión (Figura 2). Los frutos se marcaron previamente para su identificación ya que a cada peso le correspondió un determinado volumen desplazado. La densidad se reportó como g/ mL.



**Figura 2.** Determinación de la densidad (g/ mL) del mango Ataulfo por medio del registro del peso y el volumen de agua desplazada por el mismo fruto.

**Temperatura y humedad relativa.** Al iniciar los análisis en cada uno de los tratamientos se registró la TA y la humedad relativa (%HR) utilizando un termohigrómetro digital (VWR, USA) con un sensor de línea cercano a las mediciones, evitando el contacto con objetos.

**Temperatura interna del fruto.** Esta se registró en dos frutos de cada tratamiento con la ayuda de un medidor Digital thermometer  $50-250\text{ }^{\circ}\text{C}$  (VWR, USA) provisto de un sensor metálico de punta, el cual se introdujo en la fruta hasta tocar el hueso. Las lecturas se tomaron al momento y posterior a que las temperaturas alcanzaron a estabilizarse con la TA.

**Pérdida de peso acumulada.** Para esta prueba se emplearon frutos que se mantuvieron durante 15 días a TA (condiciones de maduración o mercadeo; 22-25 °C ± 2 °C, 40-45 %HR). Cada fruta fue pesada individualmente en la balanza digital evitando daños y la menor manipulación posible. El peso de la siguiente fecha de medición, se restó del peso inicial y así se continuó con el resto de las fechas. Se reportó como porcentaje de pérdida de peso acumulada mediante la siguiente fórmula: *Pérdida de peso acumulada (%) = ((Peso inicial – peso de la siguiente fecha) x 100) / peso inicial.*

**Firmeza.** Se determinó la resistencia de la fruta a la penetración mediante un punzón cónico de 0.9 cm de diámetro unido a un medidor mecánico de firmeza (Mc Cormick, USA). Para ello, mediante un pelador fue retirada una porción de la cáscara de la parte ecuatorial del mango. Se colocó el puntal sobre la zona sin cáscara y se presionó hasta el tope del instrumento (Figura 3). La operación se realizó en ambas caras del fruto. Se obtuvo una n = 8. Los resultados se expresaron como kg-f, donde 1 Kg-f = 10 N.



**Figura 3.** Determinación de la firmeza (kgf) del mango Ataulfo por medio de la resistencia a la punción.

**Presencia de daños relacionados con cavidades en la pulpa de mango.** Para la evaluación visual se utilizaron los frutos de las pruebas destructivas como lo fueron la firmeza y los sólidos solubles totales. Los cortes de polo a polo de la parte más ancha del fruto fueron evaluados cuidadosamente para detectar zonas o puntos blancos en la pulpa, empleando una lupa de apoyo (Figura 4). En el caso de observar un daño se procedió a la tinción con Lugol.



**Figura 4.** Evaluación visual de la presencia de daños sobre la pulpa del mango Ataulfo.

**Sólidos solubles totales.** Determinación que se realizó al extraer algunas gotas de jugo de la pulpa del mango usado en la prueba de firmeza. Se empleó un refractómetro portátil ATAGO (N-1 $\alpha$ , USA) de  $0-32 \pm 0.2$  % de Sólidos Solubles Totales ( $^{\circ}$ Brix) previamente calibrado con agua destilada libre de impurezas. Se colocó la muestra de jugo y a contraluz se registro la lectura que se observó en la escala del refractómetro. Los resultados se expresaron como porcentaje de Sólidos Solubles Totales (% SST). Se obtuvo una  $n = 4$ .

**Tinción con Lugol para detección de daño por cavidades en pulpa.** Previamente, se preparó una solución conteniendo 0.27 % de yodo (I, SIGMA-ALDRICH, USA) y 0.53 % de yoduro de potasio (KI, SIGMA-ALDRICH, USA) diluido y colocado en un recipiente de vidrio color ámbar. Las muestras que en la evaluación visual presentaron indicios de daños relacionados con las cavidades se les aplicó un par de mililitros de la solución de Lugol. La presencia de almidón alrededor del daño fue observada por la intrusión de la solución yodada dentro de las cadenas del polímero, generando un efecto visual que se percibió de color violeta o morado intenso. Se registró tanto la presencia como la intensidad del daño, en los rangos de ligero, moderado y severo relacionados con el porcentaje de cobertura del daño en la zona observada. Además, se colectaron imágenes digitales de los mismos.

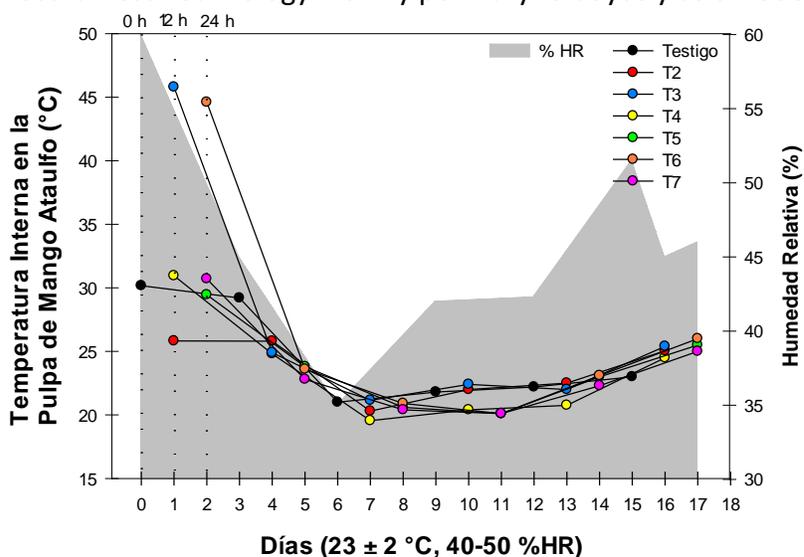
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Cambios en la temperatura externa, humedad relativa y temperatura interna de los frutos.**

La temperatura del ambiente (TA) del día 0 al 3 disminuyó de 34.5 a 30 °C y la humedad relativa (HR) de 66.5 a 45 %. Tales condiciones fueron las de la empacadora. Para los siguientes días, y hasta el final del experimento, la TA fluctuó entre 21.5 y 23 °C, con 40 a 51.5 % HR, condiciones que resultaron más estables que las iniciales.

Por otra parte, la temperatura interna de los frutos en los tratamientos T3 y T6 fue entre 44.6 a 46.1 °C para el día 0 debido a que estos se evaluaron justo a la salida del tratamiento hidrotérmico y éstos se redujeron para estabilizarse (26-30°C) durante las siguientes 6-12 horas. Para el resto de los tratamientos la temperatura interna fue entre 26 y 30 °C, ajustándose a las condiciones ambientales de esa fecha. La temperatura interna de los frutos se estabilizó a partir del día 6 entre 20 y 25 °C en todos los tratamientos hasta el final del almacenamiento (Figura 5). Era de esperarse que la temperatura interna del fruto alcanzara las condiciones ambientales, sobre todo estables lo que permitió realizar los subsiguientes análisis bajo un entorno homogéneo. Es de puntualizar el tiempo

que llevó a los frutos llegar a las temperaturas estables del medio ambiente. Para los frutos testigo que llegaron en alrededor de 30 °C se estabilizaron en su temperatura normal en las siguientes horas. Para los frutos que recibieron tratamiento hidrotérmico de 75 minutos a 46.1°C y sin recibir tratamiento de hidrogenfriado les llevó como se ha mencionado entre 6 y 12 horas o más llegar a los 30 °C y varias horas posteriores para estabilizarse. Los frutos que recibieron tratamiento hidrotérmico de 75 minutos + 10 minutos a 46.1°C e inmediatamente recibir el hidrogenfriado alcanzaron su estabilidad en la siguiente hora y los frutos que recibieron tratamiento hidrotérmico de 75 minutos a 46.1°C, se dejaron en reposo por 30 minutos y posteriormente recibieron el hidrogenfriado, alcanzaron su estabilidad después de 2 horas. Estas condiciones podrían estar alterando la migración de los gases internos de los frutos hacia el exterior y con ello la aparición o ausencia de síntomas como está descrito en el Postharvest handling of mango. University of California – Davis. Postharvest Technology. 2014 y por Daryl C. Joyce y cols. 1993.



**Figura 5.** Temperatura interna (°C) de mango Ataulfo y humedad relativa (%) durante 15 días de almacenamiento. Inicio de los tratamientos a las 0, 12 y 24 h.

### Presencia de daños relacionados con cavidades en la pulpa de mango.

Los mangos que no recibieron tratamiento alguno no presentaron frutos con daños de Cavidades en la Pulpa (CP), mientras que en T2, T3 y T4 se observó en la mayoría de los días de almacenamiento. Además, el tratamiento T3, a partir del tercer día, fue el que tuvo mayor cantidad de frutos con daños de CP para el resto de los días de muestreo. Por otra parte, solo en el día 3 para T7 y en el día 6 para el T6 se encontraron frutos con este daño (Cuadro 2).

De acuerdo a estos resultados, las 24 h de reposo, antes del tratamiento hidrotérmico para T2, T3 y T4, así como el reposo de 30 min antes del hidrogenfriado para T4, no produjo un beneficio en la reducción de la aparición de este tipo de daño en la pulpa del mango. Lo que si fue posible apreciar es la diferencia de no aplicar el hidrogenfriado como sucedió con T3, al aumentar la cantidad de frutos con daños de CP en los días posteriores de vida de anaquel.

Respecto a los mangos en las condiciones de T6, las cuales fueron similares a las de T3, permite suponer que las 48 h de reposo influyó en gran medida para que el daño de CP no se manifestara, o al menos en la mayoría de los días. Este mismo comportamiento se apreció en los frutos de T5 y T7.

Para T5, aparentemente, la combinación entre un reposo previo al hidrotérmico de 48 h, el hidrocalentamiento a 115 °F durante 75 + 10 min, seguido del hidrogenfriamiento, evitó la presencia de daños de CP en los frutos durante los 15 días bajo observación. A diferencia de éstos, los frutos etiquetados como T2 sólo tuvieron 24 h de reposo bajo las mismas condiciones, pero con la diferencia de presentar daños en todos los días de muestreo. Otra observación fue que el tiempo de reposo de 30 min antes del hidrogenfriamiento no es suficiente para evitar el daño a la pulpa como se presentó en los resultados opuestos entre los tratamientos T4 y T7 con respecto al porcentaje de mangos que presentaron daños de CP. No se tiene claridad de cuál fue el factor que influyó para que se manifestara el daño de CP días antes en T7 con respecto a T6, pues en este último los mangos no se llevaron a hidrogenfriamiento, dejando la causa del beneficio sólo al reposo de 48 h. Además, la extensión del tiempo a 75 + 10 min en el proceso de hidrocalentamiento, por sí solo no resultó efectivo en el control del daño de CP, por lo observado en los resultados entre los tratamientos de T2 versus T5. Esta presencia de daños puede atribuirse a lo comentado del tiempo que tardan los frutos en alcanzar su temperatura estable y el estado de madurez que puede estar provocando mayor o menor producción de gas o sensibilidad al deterioro celular.

**Cuadro 2.** Porcentaje de frutos de mango Ataulfo con daños relacionados con cavidades en la pulpa durante 15 días de almacenamiento.

Tratamiento	Días de Almacenamiento					
	(% de Frutos con Presencia de Daños)					
	0	3	6	9	12	15
T	-	-	-	-	-	-
T2	13	13	25	13	25	13
T3	-	25	38	25	38	63
T4	-	50	13	13	13	50
T5	-	-	-	-	-	-
T6	-	-	25	-	-	-
T7	-	25	-	-	-	-

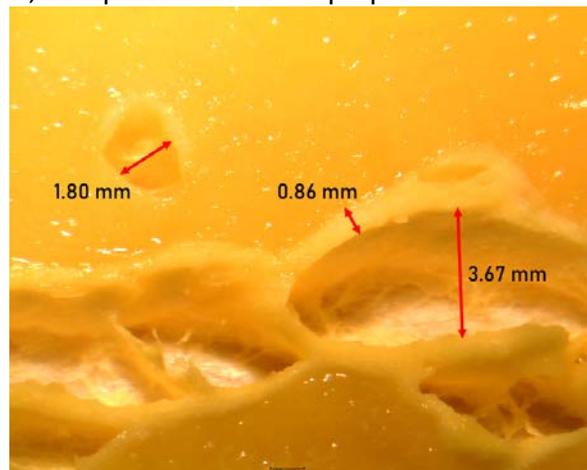
En cuanto a la severidad de los daños de CP de los frutos muestreados, en ningún caso se observó daño severo (Cuadro 3). Esquerra *et al.* (1990), clasificaron la severidad del daño según la proporción del mesocarpo afectado, considerando como daño ligero entre 1 y 25 % de la pulpa, moderado entre 26 y 50 %, y severo >50 % de la pulpa. De esta forma, los tratamientos que presentaron daño en su mayoría fueron con severidad ligera. Sin embargo, habría que valorar el impacto en la calidad por el porcentaje de frutos que se reportó con este daño de CP. Daños moderados fueron observados en una sola fecha de muestreo para el tratamiento T2 y T6, mientras que en T3 se vio en 4 fechas. Como T6 no recibió hidrogenfriamiento esta podría ser una de las causas por que se presentara esa severidad.

La figura 6A, muestra que el daño de CP se manifestó con formas irregulares y de manera heterogénea y, en los casos con una severidad mayor, con huecos semicirculares y/o alargados. En la mayoría de los frutos donde se encontró el daño por CP, la zona teñida por la solución de Lugol fue como se observa en la segunda foto de izquierda a derecha de la figura 6B.



**Figura 6.** Daño relacionado con cavidad en pulpa de mango Ataulfo durante 15 días de almacenamiento. A: zonas de daño cercanas al hueso, B: zonas teñidas con Lugol.

También registramos algunas dimensiones del daño de CP, sobretodo en las más notorias (Figura 7). En la fotografía se observa que la zona de almidón que rodea a la cavidad, tiene un grosor más o menos homogéneo que en ese caso fue de 0.86 mm. Una de las cavidades semicirculares presentó un diámetro interno 1.8 mm, aunque los hubo más pequeños.



**Figura 7.** Fotografía del daño relacionado con cavidad en pulpa de mango Ataulfo. Escala representada en la parte baja corresponde a 1 mm.

En las evaluaciones visuales también se identificaron zonas en la pulpa más cercanas a la cáscara, y mayormente en el ápice del fruto, con acumulaciones de almidón (Figura 8). Estos daños también fueron contabilizados en los tratamientos como “concentración de almidón en pulpa”, ya que al aplicar la solución de Lugol sobre la zona, se observó el color morado esperado. La acumulación de almidón se manifestó en los mangos con formas irregulares, porosas y en otras con espacios huecos (Figura 8A). La tinción reveló justamente esa acumulación del polisacárido, aunque superficialmente en el mango no se apreciara daño alguno. Sin embargo, éste se vio en un fruto debajo de una magulladura con cambio de color en la cáscara (Figura 8B, última foto). Para los frutos testigo

observamos este tipo de daño con severidad ligera solo durante el día 9 y 12 (Cuadro 3). Esto hace suponer que esta afección se origina en campo.



**Figura 8.** Concentración de almidón en pulpa de mango Ataulfo como daño distinto al relacionado con cavidad en pulpa durante 15 días de almacenamiento. A: zonas del daño cercanas a la cáscara, B: zonas teñidas con Lugol.

En todos los tratamientos, exceptuando a T5, se observó esta zona blanquecina, aunque con una severidad ligera en la pulpa. De nueva cuenta T2, T3 y T4 presentaron más fechas con la aparición de este daño. En T7 solo se observó al día 6 y al mismo día en T2, pero con severidad moderada en el último.

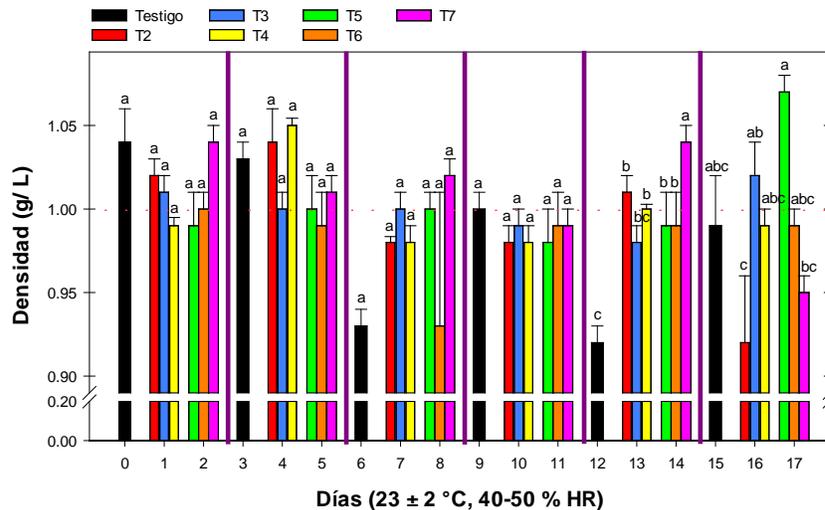
**Cuadro 3.** Tratamientos y días de almacenamiento en que se observó la presencia de los daños relacionados con cavidades en pulpa de mango Ataulfo, así como su severidad.

Tratamiento	Daño Relacionado con Cavidad en Pulpa*			Concentración de Almidón en Pulpa		
	Ligero	Moderado	Severo	Ligero	Moderado	Severo
T	-	-	-	9, 12	-	-
T2	0, 3, 6, 9, 12, 15	6	-	9, 12, 15	6	-
T3	3, 9, 12, 15	3, 6, 9, 15	-	6, 9, 12, 15	-	-
T4	3, 6, 9, 12, 15	-	-	6, 9, 12, 15	-	-
T5	-	-	-	-	-	-
T6	6	6	-	6, 9	-	-
T7	3	-	-	6	-	-

\*Día de almacenamiento en que se observó la presencia del daño y su severidad.

**Densidad del fruto.** En este parámetro solo encontramos diferencias significativas entre los tratamientos durante los días 12 y 15 bajo las condiciones de almacenamiento anteriormente descritas (Figura 9). Se buscó una posible relación entre la densidad (g/ L) del mango y la aparición de los daños de CP. Se considera que un fruto inmaduro, con mayor contenido de almidón, presenta una menor densidad que un fruto maduro, y que al aparecer el daño de CP pudiera ser dependiente de ésta y establecer alguna diferencia. Como se aprecia en la gráfica, hubo mangos que estuvieron por debajo de la línea que marca la densidad de 1 g/ L, como fue el caso de los frutos testigo durante

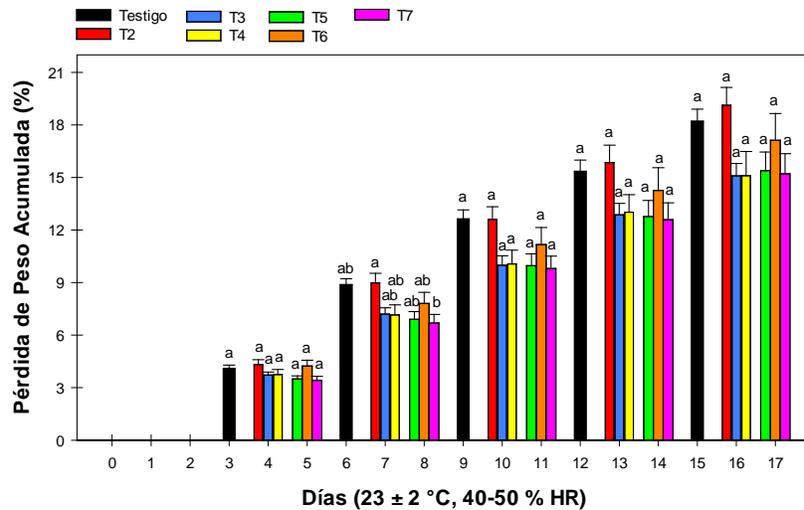
los días 6, 12 y 15. Esto no implicó que los frutos resultaran con mayor presencia de daños, aunque habría que considerar que estos mangos no recibieron tratamiento hidritérmico.



**Figura 9.** Comportamiento de la densidad (g/ L) del mango Ataulfo durante 15 días de almacenamiento con distintos tratamientos. Literal distinta entre las columnas de un mismo día de muestreo presenta diferencia significativa, n=8.

Por otra parte, los tratamientos T3, T2 y T4 que resultaron en ese orden con un mayor porcentaje de frutos con daños de CP, especialmente T3, no estuvieron tan alejados de la densidad de 1 g/ L. El tratamiento T7, aparentemente, se ajustaría a una cierta relación al mantener mayor densidad durante los días del 0 al 6 y 12, además de baja presencia de daños. Es posible que una mejora en la sensibilidad de la medición de este parámetro brinde resultados más contundentes respecto a dicha relación y que los frutos acondicionados durante 48 horas tengan mayor densidad y por ende menos daños.

**Pérdida de peso acumulada.** A partir del día 3 hasta el día 15 la tendencia en esta medición fue al incremento en todos los tratamientos, iniciando con 3.7 % y finalizando con cerca del 19 % en la pérdida acumulada de agua de los frutos (Figura 10). Este comportamiento sucedió a una razón de 3 % de pérdida de agua en cada fecha de muestreo. Aun con la falta de diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ), se apreció que tanto los frutos testigo (T) y T2 mantuvieron la tendencia con los porcentajes de pérdida de agua más altos que el resto de los tratamientos. Asimismo, pero con valores menores resultaron en ese orden los tratamientos T7 y T5. Estos resultados podrían relacionarse con lo observado en los daños, dejando de lado a los frutos testigo, pues en aquellos frutos que menos daños presentaron aparentemente se redujo la tasa de pérdida de agua. Estadísticamente, la única diferencia se manifestó al día 6 entre T2 (8.98 %) y T7 (6.69 %), fecha en la que T2 presentó menor densidad que T7 y además con presencia de daño moderado de CP.



**Figura 10.** Pérdida de peso del mango Ataulfo durante 15 días de almacenamiento para los distintos tratamientos. Literal distinta entre las columnas de un mismo día de muestreo presenta diferencia significativa, n=8.

Se valoró visualmente el cambio de color y su aspecto general, como se aprecia en la Figura 11 donde el color predominante en la cáscara fue el verde. Algunos con tonalidad ligeramente amarilla debido a la variabilidad del mismo lote. Para el día 3 de muestreo, como ejemplo, en la segunda foto se observa que el color verde se mantuvo, pero con algunas zonas tendiendo al amarillo en la mayoría de los tratamientos. Por otra parte, en algunos frutos testigo se apreciaron manchas café con mayor frecuencia en la parte media y apical del mango (Figura 12).



**Figura 11.** Aspecto visual de los frutos de mango Ataulfo al inicio del muestreo (0 días) para los tratamientos T, T2 y T3. Al día 3, muestras de fruto testigo (T) y apariencia general, en cuanto a color, en los demás tratamientos.

Se continuó con el seguimiento a esos frutos manchados, incluso hasta el día 7 de almacenamiento y se observó una mayor ocurrencia de esta coloración café donde había lenticelas dañadas. En el resto del lote de los frutos testigo no se apreció este manchado.



**Figura 12.** Manchado en la cáscara de mango Ataulfo en algunos de los frutos testigo (T).

A partir del día 6, fueron más notorios los cambios en la cáscara del mango hacia tonalidades más amarillas (Figura 13). Primeramente, en la figura se aprecia que la cáscara de los frutos con tratamiento, respecto al testigo (T), viró más rápido al color amarillo, lo cual podría deberse a que estos continuaron con procesos como el lavado, que agregan mayor manipulación y un posible aceleramiento del metabolismo.

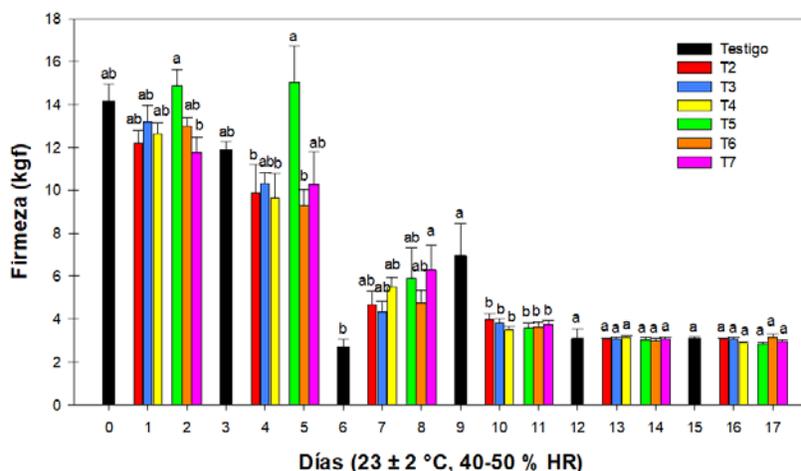


**Figura 13.** Aspecto visual de los frutos de mango Ataulfo a partir del día 6 para todos los tratamientos, bajo condiciones de  $23 \pm 2$  °C, 40-50 % HR.

En segundo lugar, entre los mangos tratados, los que conservaron mejor apariencia fueron T7 seguidos de T5. Además, la presencia de signos de deshidratación se vio al día 9 en uno de los frutos del tratamiento T6. Para el día 12, signos severos de deshidratación se vieron en los mangos de los tratamientos T2, T3, T4 y T6, mientras que con menor severidad se vieron en T5 y T7, incluyendo a los frutos testigo. De nueva cuenta, en estos dos tratamientos coincide lo que ya se vio en daños de CP y pérdida de peso acumulada. Las observaciones visuales hacen suponer que después de un 9 % de pérdida de agua en el fruto, bajo las condiciones de este estudio, se pueden percibir los primeros signos de deshidratación en la cáscara del mango.

**Firmeza de la fruta.** El ablandamiento de la pulpa del mango siguió un comportamiento normal en la reducción de los valores de firmeza (kgf) a medida que pasaron los días de almacenamiento (Figura 14). A pesar que al inicio del muestreo los tratamientos T5 (14.9 kgf) y T7 (11.8 kgf) presentaron diferencias entre sí ( $p \leq 0.05$ ), estas no se manifestaron posteriormente. Para el día 3, nuevamente los frutos con T5 tuvieron significativamente mayor firmeza (15.0 kgf) que T2 (9.9 kgf), T4 (9.7 kgf) y T6 (9.3 kgf). La firmeza bajó a valores cercanos a 6 kgf durante el sexto día de muestreo y las

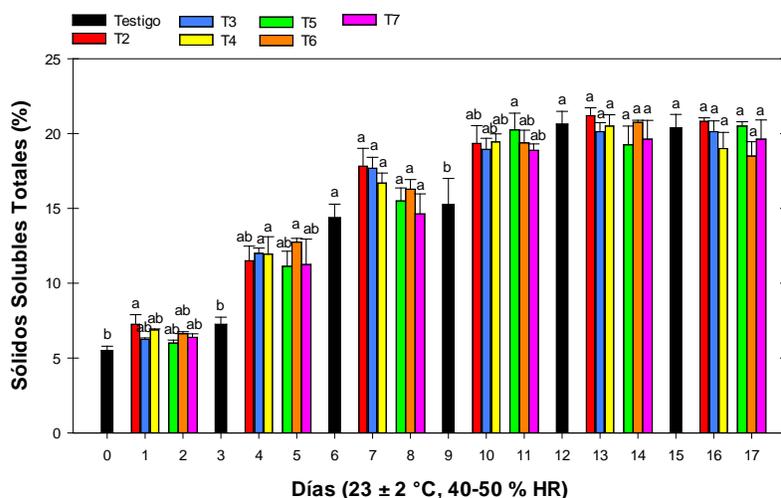
diferencias estadísticas solo se presentaron entre el T7 (6.3 kgf) y los frutos testigo (2.7 kgf). A partir del día 9 y hasta el término de las fechas de muestreo no se observaron cambios importantes en los valores de firmeza entre los tratamientos. La firmeza de éstos fluctuó entre 3.9 y 2.8 kgf.



**Figura 14.** Comportamiento de la firmeza (kgf) de la pulpa del mango Ataulfo durante 15 días de almacenamiento para los distintos tratamientos. Literal distinta entre las columnas de un mismo día de muestreo presenta diferencia significativa, n=16.

La abrupta disminución de la firmeza del mango para el día 6 coincidió con las observaciones del cambio de color de la cáscara en ese mismo día. Aunque con la tendencia posterior que se registró en la firmeza para las demás fechas, ya no fue posible distinguir otras relaciones con el resto de las variables analizadas. Tal como se mencionó en la densidad, los resultados de firmeza podrían brindar información más puntual en función del método o equipo utilizado, por ejemplo, como los que arrojaría un analizador de textura. Sin embargo, es de notar que independientemente del tratamiento hidrotérmico aplicado y las diferencias en condición del fruto; proceso de pérdida de firmeza se realizó de manera normal junto con el proceso de maduración.

**Sólidos Solubles Totales.** Esta variable (°Brix) siguió un comportamiento normal como lo observado en otros parámetros medidos, como la pérdida de agua y la firmeza, en la medida en que transcurrieron los días de almacenamiento (Figura 15). En promedio los valores de °Brix pasaron de 6.0, al inicio del muestreo, hasta 19.8 % en las últimas fechas. Las diferencias más destacadas ( $p \leq 0.05$ ) se presentaron al día 3 entre T6 (12.75 %), T3 (12.0 %) y T4 (11.94 %), respecto a los mangos testigo (7.25 %). Y para el día 9 entre T5 (20.25 %) y los mangos testigo (15.25 %). La mayor concentración de azúcares en un fruto se manifiesta a medida que se acerca a su senescencia, debido a factores bióticos o abióticos, entre otras razones. Sin embargo, los tratamientos del presente estudio no afectaron en mayor medida el comportamiento de este parámetro de calidad. Aun así, al menos hasta el día 6, los tratamientos T5 y T7 presentaron valores más cercanos al testigo. De tal manera que, al considerar las observaciones visuales donde el testigo mantuvo colores menos amarillos y valores menores de azúcares, se podría pensar que los tratamientos adelantaron la maduración de los frutos. Solo hasta el día 12 los mangos testigo alcanzaron los niveles de azúcares que se registraron en el resto de los tratamientos.



**Figura 15.** Evolución en el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en la pulpa del mango Ataulfo durante 15 días de almacenamiento para los distintos tratamientos. Literal distinta entre las columnas de un mismo día de muestreo presenta diferencia significativa, n=8.

Curiosamente, en los mangos tratados por 75+10 minutos y enfriados (25-26°C) inmediatamente después de observaron condiciones normales de maduración con buena apariencia del desarrollo de color, pérdida de firmeza y acumulación de sólidos solubles totales y que para el caso de T5 no se observaron síntomas de Cavidades en la Pulpa.

Existen muchos estudios del efecto del tratamiento hidrotérmico sobre la fisiología de la maduración de las frutas; desde la identificación de genes en cascada donde el calor inducen la síntesis de especies reactivas de oxígeno (ROS) y aumenta la tasa de los fenómenos de maduración en las frutas de mango. La generación de ROS activó el mecanismo de defensa antioxidante y alteró el metaboloma que es necesario para la aclimatación sistémica a estrés por calor en frutas; Además varios carbohidratos, aminoácidos, alcoholes grasos, esteroides, terpenoides, triterpenoides y sesquiterpenoides juegan un papel en la protección contra el estrés producido por el calor en la fruta del mango (Zainab Khanum y cols, 2020). Se sabe que estos metabolitos sirven como antioxidantes, osmolitos, precursores del desarrollo y protectores de membrana; Así mismo se ha observado la inducción de metabolitos clasificados como ácidos galoilquínicos, ésteres de ácido gálico, galotaninos, derivados del ácido gálico, derivados de benzofenonas, xantonas, flavonoides, ácidos orgánicos, azúcares, ácidos grasos y otros metabolitos (mio-inositol) para la tolerancia a daño por frío (Milton Vega-Alvarez y cols. 2020), lo cual está relacionado a membranas celulares y características cuticulares de los frutos. La tolerancia a enfermedades postcosecha por el incremento en las concentraciones de contenido fenólico total, antioxidantes totales, carotenoides y con mejor calidad de alimentación (sabor, sabor, textura, aroma y color de la pulpa) ( Shah, M. S. y cols. 2021). Esta claramente determinado el efecto de la temperatura y humedad relativa en la maduración del mango y (Arebu Hussen 2021) menciona que tempraturas arriba de 30°C retrasan el proceso de maduración con mayor impacto que los cambios en la humedad relativa, no sucediendo en el presente estudio. En una evaluación amplia, Keryl K. y cols. (2001) mencionan que todos los cambios de defensa que se presentan e inducen en los frutos por los tratamientos térmicos traen consigo cambios en la coloración, firmeza y contenido de sólidos solubles totales y que pueden ser benéficos dependiendo de la variedad del fruto y la gravedad del estrés inducido que está determinada tanto

por el diferencial de temperatura como por la duración de la exposición. En este experimento observamos un ligero beneficio en el desarrollo de estas características de calidad y que fue aparentemente dependiente del tiempo en que el futo logra temperaturas estables al medio ambiente que lo rodeo o condición de maduración.

## REFERENCIAS

- Arebu Hussien. 2021. Impact of temperature and relative humidity in quality and shelf life of mango fruit. *International Journal of Horticulture and Food Science*. 3(1): 46-50
- Artemio Pérez-López; Carlos Alberto Villaseñor-Perea; Verónica Crisanto-Martínez y J. Joel E Corrales-García. 2009. Propiedades mecánicas y maduración de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) bajo compresión axial. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 1(1): 19-23.
- Daryl C. Joyce, Paul D. Hockings, Roy A. Mazucco, Anthony J. Shorter and Lan M. Brereton. 1993. Heat treatment injury of mango fruit revealed by nondestructive magnetic resonance imaging. *Postharvest Biology and Technology*, 3:305-311.
- Gregorio Luna Esquivel, Ma. de Lourdes Arévalo Galarza, Socorro Anaya Rosales, Ángel Villegas Monter, Marcelo Acosta Ramos y Gabriel Leyva Ruelas. 2006. Calidad de mango 'Ataulfo' sometido a tratamiento hidrotérmico. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 29 (Núm. Especial 2): 123 – 128.
- Keryl K. Jacobi, Elspeth A. MacRae, Suzan E. Hetherington. 2001. Postharvest heat disinfestation treatments of mango fruit. *Scientia Horticulturae* 89:171-193.
- Milton Vega-Alvarez, Nancy Y. Salazar-Salas, Gabriela López-Angulo, Karen V. Pineda-Hidalgo, Martha E. López-López, Misael O. Vega-García, Francisco Delgado-Vargasa, José A. López-Valenzuela. 2020. Metabolomic Changes in Mango Fruit Peel Associated with Chilling Injury Tolerance Induced by Quarantine Hot Water Treatment. *Postharvest Biology and Technology* 169:1-10
- Postharvest handling of mango. University of California – Davis. *Postharvest Technology*. 2014.
- Reid, M.S., Padfield, C.A.S., Watkins, C.B. and Harman, J.E., 1982. Starch iodine pattern as a maturity index for Granny Smith apples: 1. Comparison with flesh firmness and soluble solids content. *N.Z.J. Agric. Res.*, 25: 239-243.
- Shah, M. S.; A. U. Malik, A. S. Khan, M. U. Hasan, R. Anwar, A. Amjad, M. Amin, S. Ali, M. A. Bakhsh and M. Latif. 2021. Impact of vapour heat quarantine treatments on 'Samar bahisht chaunsa' and 'Sufaid chaunsa' mango fruits during simulated air shipment to Japan. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 31(5):1329-1337
- Shivashankar, S. 2014. Physiological Disorders of Mango Fruit. *Horticultural Reviews*, Volume 42:313-347.
- Zainab Khanum, Martín E. Tiznado-Hernández, Arslan Ali, Syed Ghulam Musharraf, Muhammad Shakeel and Ishtiaq Ahmad Khan. 2020. Adaptation mechanism of mango fruit (*Mangifera indica* L. cv. Chaunsa White) to heat suggest modulation in several metabolic pathways. *Royal Society of Chemistry (RSC) Adv.*, 10:35531–35544