

Combinaciones de Temperatura-Tiempo que inducen los Daños por Frio en Mangos

Reporte Final, Abril 2012

(Originalmente presentado al Comité de Investigaciones del NMB en Septiembre, 2010)

Investigadores: Jeffrey K. Brecht and Maria Cecilia do Nascimento Nunes
Center for Food Distribution & Retailing
University of Florida

Fernando Maul
Universidad Del Valle, Guatemala

Introducción

El daño por frío (DF) disminuye la calidad de los mangos y puede estar comprometiendo su comercialización en los EE.UU. y causando grandes pérdidas económicas a los miembros de la industria del mango. Este proyecto de investigación fue iniciado para establecer las combinaciones críticas de tiempo y temperatura y la temperatura asociada al umbral de frío (s) para las variedades más importantes de mangos que se venden en los EE.UU. y el efecto de otros factores como la madurez de la fruta y la circulación de aire / velocidad de enfriamiento en la susceptibilidad y desarrollo de DF.

Nosotros mantuvimos el mango en una gama de temperaturas de enfriamiento por diferentes tiempos y luego los transferimos a una temperatura que no ocasiona daños por enfriamiento de 20°C para observar el desarrollo de los síntomas. El efecto de la circulación del aire en el DF se puso a prueba mediante la manipulación de la exposición de la fruta a corrientes de aire con diferentes tasas de enfriamiento de las frutas y pérdida de agua. Se evaluó el DF basado en análisis visuales, sensoriales y de composición para cuantificar los efectos del DF en la apariencia de mango y sabor.

El objetivo general de este proyecto fue determinar las combinaciones críticas de tiempo y temperatura y la temperatura asociada al umbral de frío (s) para las variedades más importantes de mangos que se venden en los EE.UU.

Los objetivos específicos de esta investigación fueron:

1. Cuantificar y evaluar las combinaciones de tiempo-temperatura post-cosecha que inducen los diversos síntomas de DF de las principales variedades de mango durante dos temporadas en Florida y Guatemala.
2. Cuantificar y evaluar el efecto de la velocidad de circulación del aire a una temperatura dada en el desarrollo de síntomas de DF.
3. Definir las necesidades futuras de investigación, incluyendo métodos para reducir la susceptibilidad a los daños por frío, y continuar haciendo pruebas utilizando un protocolo estándar para evaluar las posibles variaciones en la respuesta de los mangos a las condiciones que causan daños por enfriamiento post-cosecha cuando se cultivan en diferentes regiones y épocas.

Significado y Antecedentes

Los mangos son susceptibles a diversos trastornos fisiológicos que influyen en la calidad de la fruta. Entre los más importantes de éstos es el DF. En general, se ha reportado que las

temperaturas de almacenamiento por debajo de aproximadamente 10 a 13°C, pero por encima de cero pueden dañar los mangos verde-maduro (Mukherjee, 1958; Akamine, 1963; Hatton et al, 1965; Musa, 1974; Couey, 1986). Este problema limita el uso de temperaturas bajas en el almacenamiento para manejar la maduración post-cosecha, y afecta gravemente la capacidad del personal para almacenar o transportar el mango a largas distancias, ya que las temperaturas que son lo suficientemente bajas como para retrasar la maduración, la decadencia y la senescencia pueden ser también perjudiciales para la fruta.

Temperatura umbral. Un concepto importante con respecto al DF es la temperatura límite que causa el DF. El daño por frío se produce cuando un producto está expuesto a una temperatura perjudicial, durante un tiempo suficiente para iniciar una lesión irreversible. El umbral de temperatura es la temperatura más baja a la cual una fruta o vegetal susceptible se puede mantener sin desarrollar síntomas de DF. Por supuesto, la vida útil de los productos o la vida después de la cosecha, terminan con el tiempo, pero esta es afectada por otros eventos, como la pérdida de humedad (marchitamiento), maduración excesiva, o la decadencia - No al DF. Así que al final la información fundamental que se debe encontrar para evitar el DF es la de determinar las combinaciones de tiempo y temperatura que lo causan, junto con las combinaciones de tiempo y temperatura específicos envolviendo las temperaturas más altas a las cuales se puede desarrollar el DF y también las temperaturas más baja a la cual no se desarrollará el DF (es decir, la temperatura umbral).

Síntomas de daño por frío. Los síntomas de DF descritos para el mango incluyen un color grisáceo, escaldado en la piel, seguida por picaduras, maduración desigual y un pobre sabor y desarrollo de color (Hatton et al, 1965; Medlicott et al, 1990). Las últimas dos son especialmente importantes porque la pérdida de sabor debido al frío puede ocurrir sin el desarrollo de los otros síntomas visuales. Los síntomas de daño por frío no son siempre aparentes mientras el fruto está a baja temperatura, pero se desarrollan más tarde cuando la fruta se expone a temperaturas más cálidas para la maduración o cuando se exponen para la venta. Los síntomas de daño por frío en frutos de mango que se mantienen a temperatura ambiente durante 1 a 2 días después de almacenamiento a baja temperatura fueron descritas como zonas descoloridas y con picaduras en la superficie (Srivastava, 1967; Kane, 1977), seguido por la maduración irregular, con pobre color y sabor (Hatton et al, 1965) y una mayor susceptibilidad al deterioro microbiano (Sadasivam et al, 1971; Subramanyam et al, 1975). Ketsa et al. (2000) informó de que los mangos almacenados a 4°C durante 3 semanas desarrollaron lenticelas ennegrecidas y manchas grisáceas en la piel después de la transferencia a la temperatura ambiente.

Otros efectos del daño por frío. El daño por frío tiene otros efectos sobre la calidad de la fruta de mango, además de los síntomas de daño visual y la pérdida de sabor. El daño por frío

inducido en la fruta de mango almacenados a 4°C también aceleró el ablandamiento de la fruta después de que ellos fueron transferidos a 20°C; la humidificación de la atmósfera ambiental redujo los síntomas (Kane et al, 1982.). Krishnamurthy y Joshi (1989) reportaron la interrupción de las células del mesocarpio y la inhibición en el desarrollo de caroteno después de 4 semanas de la fruta estar almacenada a 7°C. Estos frutos fallaron en madurar uniformemente después de mantenerlos durante un máximo de 5 semanas a temperatura ambiente. Hay una disminución significativa en los azúcares solubles y la reducción en la descomposición de almidón en mangos con daño por frío, posiblemente debido al aumento de la invertasa y la disminución de la actividad de las enzimas de amilasa (Chhaptar et al., 1971). Los mangos con lesiones causadas por frío mostraron disminución de la acumulación de ácido ascórbico, pero aumentaron la acumulación de minerales en las lesiones de la cáscara (Chhatpar et al, 1971; Chhaptar y Modi, 1974). Kane y Marcelino (1978) informaron que la inducción de DF en la fruta de mango almacenado de 4 a 8°C durante un máximo de 10 días fue acompañada por una disminución de la capacidad de oxidación de succinato en la mitocondria. Los alcoholes y aldehídos, fueron reportados a ser formados como productos de descarboxilación fermentativa en mangos con lesiones por frío, particularmente en una atmósfera con CO₂ excesivamente alto (Lakshminarayana y Subramanyam, 1970). La peroxidasa y la actividad de la enzima celulasa en la cáscara aumentaron durante el desarrollo de DF en comparación con sus niveles en fruta sin daños por frío (Zauberman et al., 1988).

Formas de reducir el daño por frío. Elevadas concentraciones de CO₂ (kPa 5-10) en la atmósfera fueron reportadas para aliviar los síntomas de DF en el mango 'Kensington', pero reducida concentración de O₂ (5 kPa) no tuvo efecto significativo (O'Hare y Prasad, 1993). Ha sido reportado que la tolerancia del mango 'Keitt' al DF aumenta después de los tratamientos de calor antes del almacenamiento (McCollum et al., 1993). En nuestro trabajo en la Universidad de Florida, hemos demostrado que el tratamiento cuarentenario de APHIS de agua caliente, y otras combinaciones de tiempo y temperatura-reducen la susceptibilidad de los mangos Tommy Atkins y Keitt al DF (Brecht et al., 2000). También hemos demostrado que el mango puede ser enviado por 2 a 3 semanas en atmósferas controladas a 8°C para fruta madurada en el árbol o 12°C para la fruta madura y verde sin el desarrollo de DF (Bender, et al., 2000a, b).

La madurez de la fruta afecta la susceptibilidad al daño por frío. Para las frutas en general, la susceptibilidad al DF disminuye a medida que la fruta se desarrolla y madura. Por lo tanto, los frutos inmaduros son más susceptibles al DF que los frutos que son maduros, y los frutos que son fisiológicamente maduros pero que aún no han comenzado a madurar son más susceptibles al DF que los frutos que están experimentando la maduración. Comúnmente, la fruta que se expone a temperaturas extremas de refrigeración antes de haber comenzado la maduración no es capaz de madurar con normalidad. A menudo esto implica la maduración sin el desarrollo de sabor y aroma normales - en otras palabras, la fruta refrigerada puede madurar, pero sin sabor.

Si bien esta relación entre la maduración de la fruta y la susceptibilidad al DF ha sido demostrada para muchas otras frutas, esta no ha sido tan claramente reconocida para el mango. La mayoría de los cultivares de mango manifestaron lesiones por debajo de 10°C para frutos que habían alcanzado su plena madurez fisiológica (es decir, "maduro-verde"), pero ha habido sólo un par de ejemplos de investigaciones demostrando que la tolerancia del mango al DF incrementa durante la maduración (Medlicott et al., 1990; Mohamed y Brecht, 2002).

Los cultivares de mango difieren en la susceptibilidad al frío. La susceptibilidad al frío en el mango también varía con el cultivar (Farooqui y cols, 1985.); `Haden` y `Keitt` son reportados ser particularmente susceptibles. Los mangos 'Sensation' desarrollaron más síntomas en la piel que el mango 'Sammar Bahisht' (Farooqui y cols., 1985). Mientras que el DF ha sido generalmente reportado en frutos de mango a temperaturas inferiores de 10-13°C (discutido arriba), algunos cultivares ('Dasher', 'Langara') fueron reportados ser almacenados de forma segura a 7-8°C hasta por 25 días (Mann y Singh, 1976), pero la etapa de madurez de esos frutos no estaba clara.

Así, la variabilidad entre los informes con respecto a la temperatura más baja posible para almacenar los mangos sin peligro de DF puede ser debido a diferencias en la susceptibilidad del cultivar así como a las diferencias en la etapa de madurez de la fruta en diferentes experimentos. Sin embargo, hasta ahora nunca ha habido un proyecto de investigación llevado a cabo para comparar sistemáticamente la respuesta de los diferentes cultivares de mango más importantes en los diferentes estados de madurez fisiológica y niveles de maduración en un rango de combinaciones potenciales de tiempo-temperaturas frías que causan DF. Conocer las combinaciones críticas de tiempo-temperatura y la temperatura asociada al umbral de frío (s) para las variedades más importantes de mangos que se venden en los EE.UU. proporcionaría información básica para disminuir la incidencia de DF y para ofrecer mangos con una mejor calidad y sabor a los consumidores.

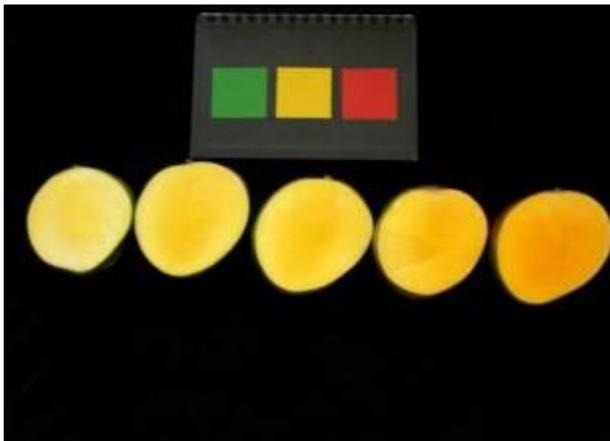
Materiales & Métodos

Obj. 1 – Respuesta a las combinaciones de tiempo-temperatura (Florida y Guatemala). Esta parte del proyecto de investigación se llevó a cabo durante las temporadas 2008 y 2009 en la Florida y durante la temporada 2009 en Guatemala. Los siguientes cultivares de mango se incluyeron en esta parte del estudio:

- Ataulfo (Guatemala)
- Francis (Florida)
- Keitt (Florida y Guatemala)
- Kent (Florida and Guatemala)
- Tommy Atkins (Guatemala)

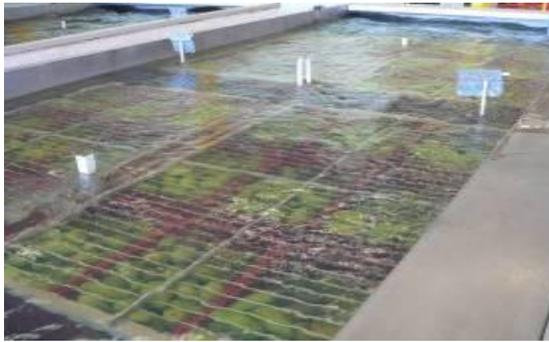


La Madurez fisiológica y la madurez: La distribución del estado de madurez a la cosecha en cada lote de fruta se determinó mediante la determinación del desarrollo del color de la pulpa interna de una submuestra inicial de 25 frutos. Las calificaciones subjetivas del color de la pulpa se basaron en el sistema de clasificación de 5 puntos, con el 1 correspondiente al blanco, 2 correspondiente a $\frac{1}{4}$ de pulpa amarilla; 3 correspondiendo a $\frac{1}{2}$ pulpa de color amarillo, 4, correspondiente a $\frac{3}{4}$ de pulpa amarilla, y 5 que corresponde al desarrollo completo del color amarillo de la pulpa. Nuestra intención en seguir este procedimiento fue de ser capaz de relacionar los resultados de la incidencia de daño por frío y de la gravedad de los síntomas con la madurez inicial de la fruta.



El tratamiento de agua caliente: Todos los mangos fueron tratados térmicamente de acuerdo con el protocolo del USDA-APHIS, ya sea en las instalaciones comerciales en Guatemala o con una unidad experimental en Florida (Modelo HWH-2, Gaffney Eng., Gainesville, Florida) que es parecido al aparato que fue utilizado por los científicos del USDA ARS en el desarrollo del actual tratamiento de inmersión en agua caliente.

Hasta 32 kg de fruta se pueden calentar a un máximo de 55 °C en cada uno de los dos tanques de tratamiento con la temperatura del agua entrante controlada dentro de $\pm 0,1$ °C.



Tratamientos de almacenaje de las combinaciones de tiempo-temperatura: Para la aplicación de los diferentes tratamientos de combinación de tiempo y temperatura, los mangos se mantuvieron a 5, 7.5, 10 o 12.5°C por hasta 4 semanas, con transferencias semanales a una temperatura ambiente de 20-23°C por 5 -6 días.



Medidas: Después de cada periodo de almacenamiento y después de 5 o 6 días a 20-23°C, se tomaron 25 muestras de fruta para las mediciones. Las mediciones no destructivas incluyeron las siguientes clasificaciones: síntomas de lesiones por frío visibles, defectos y clasificaciones de decadencia, color de la piel, y el aroma del mango de acuerdo a los métodos que hemos utilizado en nuestras investigaciones anteriores (Nunes et al., 2007). Las mediciones destructivas incluyeron color de la pulpa (subjetiva y objetiva), firmeza de la pulpa, y el contenido porcentual de sólidos solubles (^o Brix), pH y acidez del jugo. El contenido de materia seca de la pulpa se midió en Guatemala solamente.

Los síntomas visibles del DF (oscurecimiento de las lenticelas, picaduras en la piel, escaldado, maduración desigual) de cada mango individual fueron evaluados antes y después de transferir estos de las temperaturas de enfriamiento putativo a la temperatura ambiente utilizando una escala de calificación en la que 1 = severa, > 50% de la superficie de la fruta mostrando daños, 2 = daño moderado, 25-50% daño por frío, 3 = leve, hasta un 25% de picaduras y / o quemaduras; 4 = trazas (pequeños hoyos), 2-5% de la superficie total del fruto dañado y 5 = no presenta síntomas visibles de lesión.

La firmeza de los frutos se evaluó en cada mango individual aplicando presión suave con la mano y usando una escala de calificación en la que 1 = totalmente suave, 2 = suavidad avanzada, 3 = ablandamiento en primer lugar, 4 = firme al tacto, 5 = muy firme al tacto.

La deshidratación o marchitamiento de cada mango individual se evaluó mediante una escala de valoración visual en la que 1 = extremadamente deshidratado, arrugado y seco, no es aceptable bajo condiciones normales, 2 = deshidratado severo, definitivamente objetable, 3 = moderado, deshidratación evidente, convirtiéndose en objetable; 4 = signos leves, signos menores de deshidratación, no objetables, 5 = ninguno, frescos, sin señales de deshidratación. La decadencia o deterioro de cada mango se evaluó utilizando la escala modificada de clasificación visual de Horsfall y Barratt (1945), donde 1 = 76-100% de decadencia, de severo a extrema decadencia (el mango esta parcial o totalmente podrido), 2 = 51-75% de decadencia, de moderada a severa decadencia, 3 = 26-50% de decadencia, de leve a moderado deterioro (manchas de deterioro y algunos micelios creciendo); 4 = 1-25% de decadencia, probable deterioro (pequeñas áreas hundidas de color marrón / gris), 5 = 0%, sin decadencia.

Utilizando un colorímetro portátil Konica Minolta (Minolta, Ramsey, NJ) con una abertura de 8 mm, se midieron el color de la cáscara externa y el color de la pulpa interna usando el laboratorio de la CIE, L, a *, b * los cuales se convirtieron a el ángulo Hue y croma. Las muestras de pulpa de cada etapa de color se analizaron mediante un colorímetro Minolta digital para documentar las coordenadas de color objetivo expresado como ángulo Hue, y los coeficientes de Chroma y luminosidad. Las mediciones se realizaron en dos lados de la cáscara y la pulpa de mango para cada muestra analizada.



La firmeza de la pulpa fue medida utilizando un penetrómetro manual con un punzón de 8-mm Magness -Taylor. Las mediciones se realizaron en los dos lados de cada mango y el valor medio de estas mediciones se informó como firmeza de la pulpa de cada fruta. Diez mangos fueron analizados para cada categoría de color y / o variedad después de cada intervalo de almacenamiento.



Las calificaciones subjetivas del aroma de la pulpa fueron realizadas por un pequeño grupo de 3 a 4 expertos con experiencia en mango de nuestros laboratorios. Nosotros colocamos de 8 a 10 mitades o cachetes de mango dentro de un frasco de vidrio de 1 galón de capacidad, que se sellaron con bolsas de polietileno para acumular aromas en el espacio superior de la bolsa durante 5 minutos. Una vez que el período de 5 minutos expiró, el personal de laboratorio olía en el interior del frasco y proveyó una escala subjetiva de clasificación del aroma del 1 al 7 (1 = aroma de mango verde, 5 = aroma de mango maduro, 7 = demasiado maduro / aroma de acidificación del mango).



Los sólidos solubles de la pulpa y el pH se midieron utilizando muestras individuales de la pulpa del mango que se maceraron y luego se centrifugaron para separar los componentes solubles de la pulpa en agua y los insolubles. Los sólidos solubles y las lecturas de pH fueron tomados a partir del sobrenadante que se centrifugó. El contenido de materia seca de la pulpa se midió utilizando 50-gramos de muestras de pulpa de mango obtenidos a partir de secciones de frutas horizontales, que se secaron en un horno convencional a una temperatura fija de 90°C. Dependiendo de la variedad de mango, el secado de la muestra requirió entre 48 y 72 horas. Las lecturas de materia seca fueron registradas una vez que la masa de la muestra de mango secó se mantuvo constante durante un período de 12-horas. El peso de materia seca se expresó como un porcentaje del peso fresco del mango.

Obj. 2- La velocidad de enfriamiento y su relación con el daño por frío (Florida). Esta parte del proyecto de investigación se llevó a cabo durante la temporada 2009 en la Florida. Los cultivares de mango siguientes se incluyeron en esta parte del estudio:

- Keitt
- Tommy Atkins

Madurez fisiológica / maduración y tratamiento de agua caliente: Igual que para el Obj. 1.

Tratamientos: Después del tratamiento de agua caliente, las frutas fueron colocadas en un cuarto a 5°C (temperatura extrema de refrigeración) para ser enfriadas a ritmos diferentes, o se colocaron en un cuarto a 12.5°C de temperatura ambiente como el tratamiento de control:

- Cuarto de enfriamiento lento (protegiendo los mangos de los ventiladores con una capa micro perforada - 18 horas)
- Cuarto de enfriamiento rápido (totalmente expuesto a los ventiladores en el cuarto – 6 horas)
- Cuarto con aire frío forzado (2 horas)
- Cuarto control de enfriamiento a 12.5°C

El enfriamiento con aire forzado fue realizado mediante una unidad de enfriamiento de aire forzado a menor escala que desarrollamos en un proyecto de investigación previo para evaluar la presión de maduración de frutos de tomate.

La unidad fue diseñada para enfriar un media paleta de tomates (44, 25-lb cartones) desde aproximadamente 30°C a 20°C en 2 horas al forzar el aire refrigerado para que fluya a través de la cajas de cartón en un cuarto refrigerado.

Después de enfriar los tratamientos, la fruta toda fue almacenada durante 2 semanas a 12.5°C, y luego transferida a 20°C durante 5 días.

Resultados

Obj. 1 – Resultados Generales y Observaciones

A. Síntomas comunes de daño por frío en todas las variedades

- **La pérdida de aroma** es el primer síntoma que se desarrolla, y los mangos con daños por frío no recuperan los niveles normales de aroma incluso después de 5 días a temperatura ambiente.
- **La decoloración de la lenticela** es el primer síntoma visual: este síntoma aparece tan pronto como a una semana a 5°C o 2 semanas a 7.5°C.
- **La decoloración de la piel** (aparición de color gris o marrón) y pardeamiento vascular (interna) son los siguientes síntomas visuales que ocurren después de 2 semanas a 5°C o 3 semanas a 7.5°C.

- **Las escaldaduras**-como el colapso de piel aparece en último lugar.

Las siguientes imágenes ilustran estos resultados en los mangos Kent...

Kent 5°C

At Transfer

1 Week
@ 5C



+ 1 Week
@ 20°C



2 Weeks
@ 5C



+ 6 Days
@ 20°C



3 Weeks
@ 5C



+ 5 Days
@ 20°C



Observations

1 Week
@ 5C+
1 Week
@ 20C



Severe peel
discoloration



No
internal
disorders
found –
very ripe
fruit

2 Weeks
@ 5C
+6 Days
@ 20C



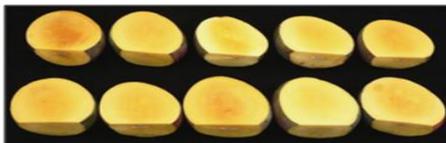
Advanced
peel
discoloration



Dull gray
skin color



3 Weeks
@ 5C
+ 5 Days
@ 20C



Dull gray
skin color



Vascular
browning



Jelly seed



Kent 7.5°C

At Transfer

1 Week
@ 7.5C



+ 1 Week
@ 20°C



2 Weeks
@ 7.5C



+ 6 Days
@ 20°C



3 Weeks
@ 7.5C



+ 5 Days
@ 20°C



Observations

1 Week
@ 7.5C
+ 1 Week
@ 20C



Peel
discoloration



internal
breakdown



Very ripe



2 Weeks
@ 7.5C
+6 Days
@ 20C



Peel
discoloration



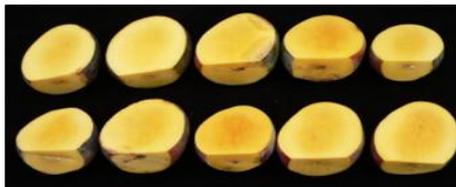
Stem
end rot



Vascular
browning



3 Weeks
@ 7.5C
+ 5 Days
@ 20C



Brown peel
discoloration



Stem end
rot



Kent 10°C

1 Week @ 10C



+ 1 Week @ 20°C



2 Weeks @ 10C



+ 6 Days @ 20°C



3 Weeks @ 10C



+ 5 Days @ 20°C



Observations

1 Week @ 10C
+ 1 Week @ 20C

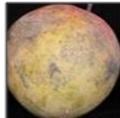


Peel discoloration

Lenticel spotting

Scald

2 Weeks @ 10C
+ 6 Days @ 20C

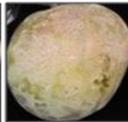


3 Weeks @ 10C
+ 5 Days @ 20C



Advanced scald & peel discoloration

Advanced stem end rot



Kent 12.5C

1 Week
@
12.5C



+ 1 Week
@ 20°C



2 Weeks
@ 12.5C



+ 6 Days
@ 20°C



3 Weeks
@ 12.5C



+ 5 Days
@ 20°C



Observations

1 Week
@ 12.5C
+ 1 Week
@ 20C



Very little damage found
70% yellow in color
Mangos almost ripe

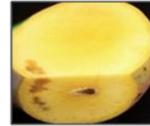
2 Weeks
@ 12.5C
+6 Days
@ 20C



Dull skin
color



Internal
browning



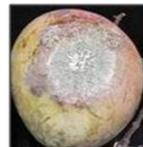
3 Weeks
@ 12.5C
+ 5 Days
@ 20C



Dull skin
color

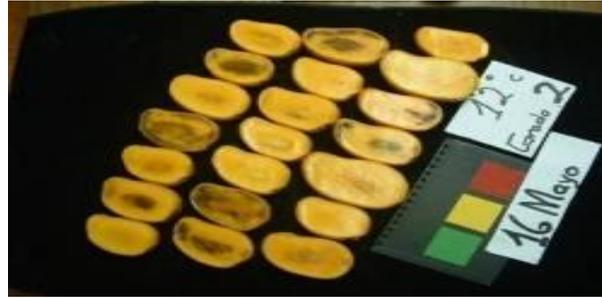
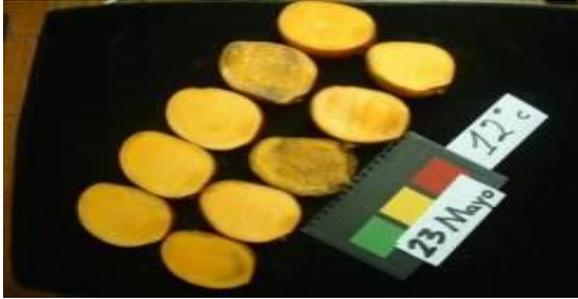


Decay



B. Las diferencias de los cultivares en la susceptibilidad de daño por frio

- El Aaulfo es la variedad más sensible. El desarrollo de pardeamiento de la pulpa se produjo alrededor de la semilla después de 2 semanas a 5°C a 12,5°C, pero 3 o 4 semanas a 10°C y 12.5°C resulto en el peor de los oscurecimientos. Otros síntomas de daño por frio en los Aaulfo fueron los siguientes:
 - Marchitamiento de la piel
 - La pérdida de aroma (más sensible de todas las variedades)



- El mango Kent desarrolló una apariencia externa opaca y blanqueada.



C. Color, firmeza y composición con relación al DF

- Hubo algunos efectos de las bajas temperaturas en el ablandamiento del fruto (ver los resultados del mango Keitt), pero no hubo efectos importantes sobre el color de la fruta, materia seca, contenido de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) o la acidez.

D. La madurez de la fruta para la cosecha con relación al DF

- La proporción de la fruta que desarrolló los síntomas más severos de DF después del almacenamiento y maduración fueron aproximadamente proporcionales a la proporción de la fruta menos madura en las muestras iniciales.
- El tamaño de la muestra inicial (de 25 frutas) probablemente no era lo suficientemente grande como para estimar con precisión la distribución de la madurez.

Obj. 1 - Resultados por variedad

A. Ataulfo

- Los mangos Ataulfo fueron muy susceptibles a las bajas temperaturas de almacenamiento en ambos experimentos conducidos.
- La etapa inicial de madurez no afectó la reacción al daño por frío en el primer experimento. Las frutas en estado de madurez inicial entre 2 y 4 fueron todas afectadas por las bajas temperaturas.
- Los síntomas de pardeamiento de la pulpa fue el síntoma de daño por frío más notable documentado.
- Los síntomas de pardeamiento se hicieron evidente después de 2 semanas de almacenamiento en todas las temperaturas de almacenamiento en ambos experimentos.
- La severidad de pardeamiento aumentó con la duración de almacenamiento.
- La severidad de pardeamiento de la pulpa fue mayor en la fruta almacenada a 10 ó 12.5°C en comparación con las temperaturas de almacenamiento inferiores. El pardeamiento de la pulpa fue acompañado por una textura correosa /pulpa de textura seca, especialmente en los tejidos de pulpa cerca de la semilla de mango.
- La firmeza de la pulpa del mango Ataulfo se vio afectada por la temperatura de almacenamiento y duración. Después de 21 y 28 días de almacenamiento, los mangos Ataulfo fueron ligeramente más firmes que las mediciones de firmeza después de 8 y 15 días, probablemente debido a los cambios en la textura de la pulpa que se producen en conjunción con el pardeamiento de la pulpa.
- Las calificaciones del aroma de Ataulfo fueron normales durante los primeros 21 días de almacenamiento. Después de 28 días de almacenamiento, el mango Ataulfo almacenado a 5°C se consideró tener un aroma agrío/sobre maduro, otros tratamientos de temperatura tuvieron el aroma normal a fruta y a maduración.
- El deterioro por antracnosis se convirtió significativo en la fruta almacenada a 12.5°C durante 21 a 28 días.

- Los síntomas de pardeamiento de la pulpa no se relacionaron con los síntomas visuales externos.
- No hubo relación entre la temperatura de almacenamiento y las manchas de lenticelas.
- Los mangos Ataulfo son susceptibles al daño por frío a temperaturas de 12.5°C o inferiores. Los síntomas se presentan después de 15 días más 5 días a temperatura ambiente, y la severidad aumenta, con la duración del almacenamiento. En los envíos comerciales de América del Sur la calidad podría ser una preocupación relevante. Podría ser recomendable el mantener el almacenamiento refrigerado incluso en el supermercado para prevenir que el pardeamiento de la pulpa ocurra cuando se retorne a la temperatura ambiente.

B. Francis

- Un experimento sencillo fue conducido con mangos Francis, pero la fruta había sido transportada por mar desde Haití a la Florida y eran de madurez muy avanzada cuando se entregó para el experimento para ser considerado válido.

C. Keitt

- Después de 21 días de almacenamiento, la fruta almacenada a 5 o 7.5°C tuvo un aroma amargo, mientras que los otros tratamientos de temperatura tuvieron un aroma normal.
- Los mangos almacenados a 12.5°C tuvieron la firmeza de la pulpa consistentemente menor en comparación con los otros tratamientos de almacenamiento.
- Los síntomas de pardeamiento de la pulpa no son aparentes en el mango Keitt almacenados a cualquier temperatura.
- No hubo una relación evidente entre la temperatura de almacenamiento y el manchado de las lenticelas.
- La decadencia o deterioro en los experimentos de Guatemala:
 - Durante los primeros experimentos de almacenamiento graves síntomas de deterioro por antracnosis se desarrollaron después de 15 días a todas las temperaturas. El experimento se terminó después de 21 días debido a la gravedad del deterioro.
 - Durante el segundo experimento, un tratamiento térmico adicional fue efectivo para reducir la severidad del deterioro por antracnosis.
 - La incidencia de la antracnosis tenía una fuerte relación con la firmeza de la pulpa. El aumento de la severidad se correlacionó con una menor firmeza de la pulpa.
 - La firmeza de la pulpa se redujo después del almacenamiento refrigerado, incluso después de 15 días de almacenamiento, más dramáticamente que cualquier otra variedad probada.

- El deterioro por antracnosis afecto a los mangos almacenados a 12.5°C después de 15 días de almacenamiento aumentando la severidad con la duración de almacenamiento.
- Los síntomas de antracnosis fueron severos después de 28 días de almacenamiento.
- El pardeamiento de la pulpa fue observado en 30 a 40% de los mangos almacenados a 5 o 7.5°C por 28 días.
- Las clasificaciones subjetivas de aroma no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos de temperatura durante los primeros 21 días de almacenamiento. Sin embargo, después de 28 días de almacenamiento, los mangos almacenados a 5 o 7.5°C, fueron juzgados con tener un aroma agrio/sobre maduro.

D. Kent

- Después de 21 días de almacenamiento, los mangos almacenados a 5 o 7.5°C se mantuvieron firmes y tenían lecturas subjetivas de color en la pulpa menores en comparación con las temperaturas de almacenamiento superiores (es decir, inhibición de la maduración debido al DF).
- La descoloración de la cascara fue evidente en los mangos almacenados por debajo de 10°C durante al menos 21 días.
- No hubo relación entre la temperatura de almacenamiento y las manchas de lenticelas.

E. Tommy Atkins

- Los mangos Tommy Atkins parecen tolerar las bajas temperaturas sin síntomas importantes durante las primeras 2 semanas de almacenamiento. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de temperatura.
- El aroma del mango se vio afectado como consecuencia de la temperatura de almacenamiento. Después de 21 y 28 días de almacenamiento, los mangos sometidos a 5 o 7.5°C perdieron su sabor a fruta / aroma maduro y en cambio fueron juzgados a tener un sabor agrio / aroma sobremaduro, mientras que otros parámetros como la firmeza de la pulpa o el °Brix no fueron significativamente diferentes entre los tratamientos.
- Los síntomas de pardeamiento de la pulpa se observaron en 30 a 40% de las muestras almacenadas a 5 o 7.5°C durante 28 días en ambos experimentos de almacenamiento. No se observaron síntomas de pardeamiento en períodos cortos de almacenamiento.
- Habría un mayor riesgo de oscurecimiento de la pulpa y cambios en el aroma, si los mangos Tommy Atkins son almacenados a una temperatura de 7.5°C, sin beneficios significativos a los otros parámetros de maduración.
- Los mangos Tommy Atkins almacenados a 12.5°C tuvieron síntomas más graves de pudrición del pedúnculo, en comparación con la fruta almacenada a temperaturas más bajas, especialmente en tiempos de almacenamiento superiores a 21 días.
- El deterioro por antracnosis no fue un problema significativo de importancia en mango Tommy Atkins.

- Es importante señalar que la firmeza de la pulpa, °Brix y el color subjetivo de la pulpa fueron comparables entre los mangos almacenados en cualquiera 7.5 o 10°C. Esto sugeriría que el almacenamiento del mango a 7.5°C, probablemente no tendrá ningún efecto en el retraso de la maduración o en la extensión de la vida de anaquel en comparación con la temperatura de almacenamiento recomendada de 10°C.
- No hubo una relación evidente entre la temperatura de almacenamiento y manchas de lenticelas.
- Los mangos Tommy Atkins mantuvieron bien su firmeza en la pulpa después de 5 días a temperatura ambiente seguida por el almacenamiento a baja temperatura. Otras variedades comerciales, tales como Kent y Keitt perdieron firmeza más dramáticamente durante este período de maduración.

Obj. 2 - Resultados generales y observaciones principales

A. Enfriamiento con aire forzado versus el DF

- No se encontró evidencia de que el enfriamiento por aire forzado incrementa el DF.

Nosotros especulamos que puede haber situaciones en las que el mango enfriado con aire frío forzado que se envían a grandes distancias en contenedores marítimos a 7- 8°C (es decir, a temperaturas que ocasiona daño por frío pueden desarrollar daño por frío, mientras que los mismos mangos empacados “calientes” que se envían a 7- 8°C de temperatura tal vez no desarrollen daño por frío. Esto sería porque los mangos 'calientes' se enfrían muy lentamente en un contenedor, por lo tanto se mantiene por encima del intervalo de daño por frío durante el transporte.

Investigaciones Futuras Necesarias

Las recomendaciones para investigaciones necesarias futuras relacionadas con y la disminución del daño por frío DF en los mangos son las siguientes:

- Determinar la susceptibilidad del DF para las mismas variedades de mango:
 - creciendo en otras regiones
 - creciendo en diferentes estaciones con diferentes condiciones ambientales
 - Cosechadas en fechas distintas de la misma huertas
- Probar variedades adicionales (por ejemplo, Francis y Haden)
- Probar el efecto de los tratamientos que pueden aliviar el DF, tales como revestimientos o MAP.

Recomendaciones del Protocolo Estándar para Pruebas de Susceptibilidad de DF en el Mango

El protocolo estándar recomendado para probar la susceptibilidad del mango al daño por frío, para ser usado por la industria y otros:

1. Colectar muestras de mangos después de llenar las cajas, o después del pre-enfriado (si se realiza).
 - a. Usar el tamaño más común en los lotes de fruta.
 - b. Cortar una muestra de al menos 100 frutas para determinar la distribución de los estados de madurez utilizando el sistema de clasificación de 5-puntos.
2. Colocar las muestras a 5°C durante un máximo de 4 semanas, con cuatro evaluaciones espaciadas uniformemente, realizadas dentro de ese plazo.
 - a. Remover 100 muestras de frutas para evaluación inmediata después de cada período de almacenamiento.
 - b. Transferir 100 muestras de fruta adicionales a 23-25°C después de cada período de almacenamiento y observar la apariencia visual diariamente por 5 días.Evaluar la apariencia externa e interna después de 5 días a 23-25°C.

DF procedimiento de evaluación:

1. Aspecto Externo

- a. Califique la fruta por la decoloración de lenticelas y escaldadura con escalas de 1 a 5.
- b. Documentar la incidencia y severidad de pudriciones.
- c. Observar el desarrollo del color, y tomar nota de cualquier coloración gris o marrón, o el desarrollo de color con manchas.

2. Condición Interna

- a. Corte la fruta para la determinación de la madurez y de la puntuación del color interno mediante la escala de 1 a 5.
- b. Note si el aroma es normal o si hay una sobre maduración o que otros olores están presentes.
- c. Medir la firmeza del fruto y los grados Brix.

Este protocolo estándar se puede utilizar para determinar la susceptibilidad del DF para las mismas variedades de mango que se cultivan en otras regiones y en diferentes estaciones del año, con diferentes condiciones ambientales, para probar nuevas variedades, para probar el efecto de los tratamientos que pueden aliviar el DF, tales como revestimientos o MAP, y se puede utilizar como parte de un programa de control de calidad (CC) o de garantía de calidad (QA) durante las operaciones de transporte y manejo.

Literatura Citada

- Akamine, E.K. 1963. Haden mango storage. *Hawaii Farm Science* 12(4):6.
- Bender, R.J., J.K. Brecht, E.A. Baldwin, and T.M.M. Malundo. 2000a. Aroma volatiles of mature-green and tree-ripe 'Tommy Atkins' mangoes after controlled atmosphere vs. air storage. *HortScience*. 35:684-686
- Bender, R.J., J.K. Brecht, S.A. Sargent, and D.J. Huber. 2000b. Low temperature controlled atmosphere storage for tree-ripe mangoes (*Mangifera indica* L.). *Acta Horticulturae* 509:447-458.
- Brecht, J.K., W. Chen, S.A. Sargent, and J.A. Bartz. 2000. Hot water and ethylene treatments to reduce decay and chilling injury of 'Tommy Atkins' and 'Keitt' mangoes. *Postharvest 2000: 4th Intl. Conf. Postharv. Sci.*, Jerusalem, Israel, 26-31 March, 2000. Abstracts p. 18.
- Chhatpar, H.S. A.K. Mattoo, and V.V. Modi. 1971. Biochemical studies on chilling injury in mangoes. *Phytochemistry* 10:1007-1009.
- Chhatpar, H.S. and Modi, V.V., 1974. Studies on invertase from *Mangifera indica*. *Phytochemistry* 13:693-696.
- Couey, M.H. 1986. Chilling injury in fruits of tropical and subtropical origin. *HortScience* 17:162-165.
- Farooqui, Q.A., Sattar, A., Daud, K. and Hussain, M. 1985. Studies on the postharvest chilling sensitivity of mango fruit (*Mangifera indica* L.). *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 98:220-221.
- Hatton, T.T. Jr., W.F. Reeder, and C.W. Campbell. 1965. Ripening and storage of Florida mangoes. *Marketing Research Report 725*, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Horsfall, J.G. and R.W. Barratt. 1945. An improved grading system for measuring plant disease. *Phytopathology*. 35, 654.
- Kane, O. (1977) Recherches sur l'évolution normale ou pathologique de mangues (*Mangifera indica* L.) conservées au froid dans l'air ou en atmosphère contrôlée. Thèse doct 3ème cycle. Université Pierre et Marie Curie, Paris, 124 pp
- Kane, O., M. Boulet, and F. Castaigne. 1982. Effect of chilling injury on texture and fungal rot of mangoes (*Mangifera indica* L.). *Journal of Food Science* 47:992-995.
- Kane, O. and Marcellin, P. 1978. Incidence of ripening and chilling the mitochondria from mango fruits. *Plant Physiology* 61:634-638.
- Ketsa, S., S. Chidtragool, and S. Lurie. 2000. Prestorage heat treatment and postharvest quality of mango fruit. *HortScience* 35:247-249.
- Krishnamurthy, S. and S.S. Joshi. 1989. Studies on low temperature storage of Alphonso mango. *Journal of Food Science and Technology* 26: 177-180.

Lakshminarayana, S., and H. Subramanyam. 1970. Carbon dioxide injury and fermentative decarboxylation in mango fruit at low temperature storage. *Journal of Food Science and Technology* 7(3):148-152.

Mann, S.S. and Singh, R.N. 1976. The cold storage life of Deshari mangoes. *Scientific Horticulture* 5:249-254.

McCollum, T.G., D'Aquino, S. and McDonald, R.E. 1993. Heat treatment inhibits mango chilling injury. *HortScience* 28:197-198.

Medlicott, A.P., Sigrist, J.M.M. and Sy, O. 1990. Ripening of mangoes following low temperature storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115:430-434.

Mohammed, M. and J.K. Brecht. 2002. Reduction of chilling injury in 'Tommy Atkins' mangoes during ripening. *Scientia Horticulturae* 95:297-308.

Mukherjee, S.K. 1958. The origin of mango. *Indian Journal of Horticulture* 15:129.

Musa, S.K. 1974. Preliminary investigations on the storage and ripening of 'Totapuri' mangoes in the Sudan. *Tropical Science* 16(2):65-73.

Nunes, M.C.N., J.P. Émond, S. Dea, E. Proulx, and J.K. Brecht. 2007. Quality curves for mango fruit (cvs. Tommy Atkins and Palmer) stored at chilling and nonchilling temperatures. *Journal of Food Quality* 30:104-120.

O'Hare, T. J., and A. Prasad. 1993. The effect of temperature and carbon dioxide on chilling symptoms in mango. *Acta Horticulturae* 343:244-250.

Sadasivam, R., Muthuswamy, S., Sundaraj, J.S. and Vasudevan, V. 1971. Note on chilling injury in mango (*Mangifera indica* L.) fruits in refrigerated storage. *Indian Journal of Agricultural Science* 41:715-716.

Srivastava, H.C. 1967. Grading, storage and marketing, in the mango: a handbook. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi. Chap. 5.

Subramanyam, H., S. Krishnamurthy, and H.A.B. Parpia. 1975. Physiology and biochemistry of mango fruit. *Advances in Food Research* 21:223-305.

Zauberman, G., Y. Fuchs, I. Rot, and A. Wexler. 1988. Chilling injury, peroxidase, and cellulase activities in the peel of mango fruit at low temperature. *HortScience* 23:732-733.