

Resumen Ejecutivo

Solo con algunas excepciones casi toda la producción de mango crece en áreas del mundo donde se han establecido varias especies de la mosca de la fruta. Por esta razón la exportación de mango hacia Estados Unidos requiere de medidas fitosanitarias, generalmente tratamientos cuarentenarios, para asegurar que la mosca de la fruta no esté presente en frutas importadas.

La calidad del mango en los mercados de Estados Unidos frecuentemente se reporta por debajo de los estándares de calidad. Mientras tanto, hemos reconocido algunos de los factores que pueden contribuir a la pérdida de calidad de la fruta; muchos de los involucrados en la industria de mango sienten que el protocolo del agua caliente es en gran parte el responsable de la pérdida de calidad en el mango.

Actualmente otras alternativas al tratamiento están disponibles en la industria, incluyendo aire forzado caliente e irradiación, mientras que otras opciones están desarrollándose y podrían estar disponibles en un futuro no lejano. Este reporte presenta una descripción de varios tratamientos opcionales para frutas y las ventajas y desventajas de cada potencial alternativa al protocolo de agua caliente. Además, se presentaron recomendaciones como resultado de la evaluación de los tratamientos de agua caliente y manejo de mango a nivel de empacadoras para su mejoramiento.

Entre varias de las alternativas están el uso de aire forzado caliente, aire forzado caliente con atmósferas controladas (atmósferas controladas a altas temperaturas) y la irradiación han mostrado ser prometedoras para el mejoramiento de la calidad de la fruta y podrían implementarse en relativamente poco tiempo. Las atmósferas controladas a altas temperaturas aun no han sido aprobadas por APHIS, pero APHIS recientemente aprobó este tratamiento para su uso dentro de Estados Unidos. Cada una de estas opciones requiere de inversión de capital, especialmente la opción de irradiación. Por esta razón, recomendamos a la industria que sigan mejorando los

protocolos de agua caliente y el manejo de la temperatura de la fruta antes y después del tratamiento de agua caliente, además de explorar los tratamientos alternativos.

Tratamientos Alternativos a la Inmersión de Agua Caliente para Mango

**Reporte sometido al Consejo Nacional de Mango
Diciembre 2008**

Dr. Elizabeth Mitcham, Dept. Plant Sciences, University of California,
Davis, CA, USA

Dr. Elhadi Yahia, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma
de Querétaro, México

Introducción

Sólo con algunas excepciones, la mayoría del mango se produce en áreas del mundo donde se han establecido especies de la mosca de la fruta. Por esta razón, la exportación de mango a Estados Unidos ha requerido de medidas fitosanitarias, generalmente tratamientos cuarentenarios, que aseguren que no esté presente mosca de la fruta viva en las frutas importadas. Los protocolos de tratamientos de agua caliente para mango de Centro y Sur América se desarrollaron a finales de los años ochentas. Más de 100 instalaciones de tratamientos de agua caliente se instalaron en Centro y Sur América para tratamientos en mango y estas gradualmente se han ido mejorando después de muchos años de operación.

La calidad de mango en los mercados de Estados Unidos con frecuencia está por debajo de los estándares de calidad. Es reconocido que son muchos los factores que pueden contribuir en la pérdida de calidad. Muchos en la industria del mango sienten que los protocolos de agua caliente son en gran parte responsables de la pérdida de calidad en el mango.

Actualmente otras alternativas de tratamiento están disponibles en la industria, incluyendo aire forzado caliente e irradiación, mientras que otras opciones están desarrollándose y podrían estar disponibles en un futuro no lejano. Este reporte presenta una descripción de varios tratamientos opcionales para mango y las ventajas y desventajas de cada potencial alternativa al protocolo de agua caliente. Además, se presentan algunas recomendaciones como resultado de la evaluación de los tratamientos de agua caliente y manejo de mango a nivel de las empacadoras para su mejoramiento. La información presentada en este reporte fue recolectada de algunas publicaciones, artículos periodísticos, a través de entrevistas con empacadores de mango, investigadores y representantes de APHIS, así como de entrevistas en las visitas a las empacadoras de mango.

Tratamiento con agua caliente

La inmersión en agua caliente es un tratamiento efectivo para desinfectar el mango de la mosca de la fruta y es el tratamiento cuarentenario de alta temperatura más usado hoy en día debido al volumen de mango tratado proveniente de Latinoamérica. La USDA Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS) aprobó la inmersión en agua caliente como tratamiento cuarentenario para la mosca de la fruta (Tephritidae) en mango en 1987. Los tratamientos en agua caliente han sido utilizados por los productores en muchos países como tratamiento cuarentenario para mango y papaya. Los establecimientos comerciales de tratamiento de agua caliente son muy grandes y rutinariamente son usados para tratar mango en inmersión de agua caliente a una temperatura de 115 a 116°F (de 46.1 a 46.5°C) por 65 a 120 minutos dependiendo del peso de la fruta y la variedad de mango, para exportar a Estados Unidos desde México, Guatemala, Ecuador, Brasil y Perú. Son aproximadamente 75 establecimientos de tratamientos de agua caliente en México, 5 en Ecuador, 6 en Guatemala, 11 en Perú y 10 en Brasil.

Requerimientos del tratamiento con agua caliente

De acuerdo con los requerimientos de la USDA-APHIS para variedades redondas (Tommy Atkins, Kent, Haden, Keith), el tratamiento para la mosca de la fruta requiere de un calentamiento del agua a 115°F (46.1°C) por 75 a 110 minutos, dependiendo del peso del mango. Fruta de hasta 500 g de peso es tratada por 75 minutos, fruta pesando de 501 a 700 g son tratados por 90 min y mangos de 701 a 900 gr (sólo aprobados para México y Centro América) son tratados por 110 minutos. Para variedades aplanadas y alargadas (Frances, Ataulfo, Manila), fruta hasta de 375 g son calentados por 65 minutos y fruta de 375 a 570 g son calentados por 75 minutos. Existen requerimientos específicos para la temperatura del agua durante los primeros minutos de tratamiento y los sistemas de agua caliente deben certificarse cada año antes de ser usados.



B

A



C



D



E



F

Figura 1. Instalaciones de tratamiento de agua caliente para mango

Actualmente el hidro-enfriamiento (Fig. 1C D) está permitido inmediatamente después del tratamiento de agua caliente cuando se agregan 10 minutos al tiempo del tratamiento de agua caliente, o bien se puede hidroenfriar después de esperar por al menos 30 minutos esperando a temperatura ambiente. El agua de hidro-enfriamiento no debe ser más fría que 70°F (21.1°C) de acuerdo a APHIS.

Muchas empacadoras de mango han instalado infraestructura para tratamiento de agua caliente, lo cual generalmente consiste en una serie de tanques de agua caliente, en un sistema de rejillas para cargar las cajas de campo llenas con mango y una grúa para subir y bajar las rejillas adentro del agua caliente (ver Fig. 1 A, B). Se observa cómo funcionan los sistemas suavemente una vez que ha sido probado su uso al iniciar la temporada.

Aunque temperaturas de hidro-enfriamiento tan bajas como 70°F (21.1°C) son permitidas por APHIS, muchos de los establecimientos que nosotros y el Equipo del Proyecto de la Cadena de Distribución de Mango hemos visitado, observamos que muchos de ellos no tienen hidro-enfriamiento, usan agua a temperatura por arriba de los 70°F (80° a 89°F, 26.7 – 31.7°C) y las frutas no son hidro-enfriados por el tiempo suficiente (en algunos casos por menos de 10 minutos). El tiempo máximo observado fue de 30 minutos y el más corto de 2 minutos. En algunos establecimientos el tiempo de hidro-enfriamiento parece que se estableció al azar y no se ha manejado por la necesidad de agregar una nueva reja de fruta del tanque de agua caliente y, que por eso se limita la capacidad de enfriamiento. De cualquier manera muchos de los establecimientos no tienen suficiente capacidad para hidro-enfriar toda la fruta caliente. Debido a las altas temperaturas del agua de “hidro-enfriamiento”, en algunos casos la fruta solo alcanza a enfriarse internamente (temperatura de pulpa) hasta 98°F (36.7°C) a 108°F (42.2°C) antes de sacarla del hidro-enfriamiento.

Cuando la fruta ha sido hidro-enfriada, con frecuencia se empaca dentro de 1½ horas, pero cuando no se ha hidro-enfriado son generalmente empacados después de 12-24 horas. La razón es porque el empacador espera para ver si se ha desarrollado

algún tipo de daño en la fruta que no ha sido hidro-enfriada (en la superficie, quizá debido al efecto del látex en la piel). Esto muy común cuando no se hidro-enfría la fruta antes de empacar, y algunas veces sin ningún tipo de enfriamiento después de empacar y antes de embarcar. Algunos almacenes solo enfrían la fruta que va a ciertos mercados, como es Japón, o bien para ciertos clientes. El hidro-enfriamiento de mango después del tratamiento con agua caliente disminuye la temperatura de la pulpa rápidamente (Shellie and Mangan, 2002; Fig 2) y se ha demostrado que hace más lenta la actividad metabólica de la fruta (de León et al., 1997). El tratamiento de agua caliente ha demostrado que expande la cutícula de la fruta causando fisuras aisladas y poros alargados que pueden verse por microscopio electrónico, sin embargo, la apariencia de la cutícula regresa a su estado normal después del hidro-enfriamiento (de León et al., 1997). El tratamiento por inmersión en agua caliente no es un tratamiento cuarentenario efectivo para desinfectar al mango del gorgojo de la semilla. El gorgojo en el mango variedad "Alfonso" de la India no se pudo matar en mango infestado cuando se sumergió en agua a una temperatura de 118.4-125.6°F (48-52°C) por arriba de los 90 minutos, y a 129-158°F (54-70°C) por más de 5 minutos (Shukl y Tandon, 1985).

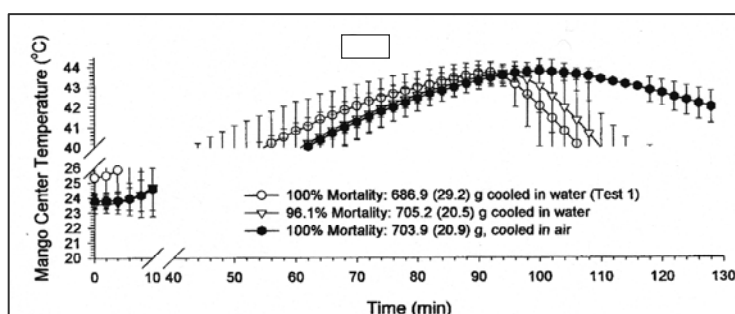


Figura 2. Promedio de temperatura en el centro del fruto del mango durante 90 min de inmersión en agua a 41°C y enfriamiento en agua 22 a 26.5°C (símbolos abiertos) o 23°C al aire ambiente (símbolos cerrados).

Tabla 1. Practicas de Hidro-enfriamiento de mangos tratados con agua caliente como se observo durante nuestras visitas y también por el equipo del proyecto del “la Cadena del mango” (Mango Supply Chain) durante 2007-08.

	Región A	Región B	Región C	Región D
Método	a – rociar con manguera b – no se usa c - inmersión	a – inmersión b – no se usa c – no se usa d – no se usa e - inmersión	a – inmersión b – inmersión c – inmersión d - inmersión e – no f – no g – inmersión h – inmersión i – inmersión j – inmersión k – inmersión l – inmersión	a – inmersión b – no se usa c – inmersión d – no se usa e – no se usa f - inmersión
Retraso antes del tratamiento hidrotermico	a – 30 min b – no c – 30 min	a – 0 min (10 min adicionales para calentar) e – 30 min	a – 0 min b – 0 min c – 0 min d – 0 min e – Sin hidrogenoenfriamiento (dejaron la fruta a temperatura ambiente por unas 8 horas) f – Sin hidrogenoenfriamiento (dejaron la fruta a temperatura ambiente por la noche) g – 0 min h – 0 min i - 0 min j – 0 min k – 30 min l - 30 min	a – 30 min c - 2 min f – 30 min

	Región A	Región B	Región C	Región D
Duración del tratamiento de hidrogenado	a – 5 min c – 10 min	a – 16 min e – 20 min	a – 20 min b – 30 min c – 10 min d – 30 min g – 4-10 min h – 16 min i – 10 min j – 30 min k – 15-20 min l – 30 min	
Temperatura del agua		a – 81°F (27°C) e – 71°F (21.7°C)	a – 86°F (30°C) b – 72°F (22°C) c – 77°F (25°C) d – 91.4°F (33°C) g – 79-80°F (26-27°C) h – 89°F (31.7°C) i – 85.5°F (30°C) j – 77°F (25°C) k – 78°F (25.5°C) l – 84°C (29°C)	a – 72-84°F (22-29°C) f – 70°F (21°C)

Regiones A-D son distintos regiones visitados

	Región A	Región B	Región C	Región D
Temperatura final de la pulpa después de una hora	a – 102°F (39°C) b – 112°F (44.5°C) c – 98°F (36.7°C)		a – 95.6°F (35.3°C) b–94-96°F (9434.4 - 35.6°C) c – 91.4°F (33°C) d – 105.6°F (40.9°C) e – (temperatura de la pulpa empacada 90°F, 32°C) g – 107-116°F (42-47°C) h – 108°F (42°C) i – 102°F (39°C) j - 88-89.6°F (32-33°C) k – 91.4-96°F (33-35°C) l – 92-102°F (33-39°C)	
Enfriamiento antes de embarcar	a – Cuarto frío a 53°F (11.8°C) b – aire forzado por 1 a 2 h a 48.6°F (9.2°C) c – aire forzado frío por 4 a 6 h a 50.9°F (10.5°C)	a – cuarto frío por 3 h a 48.9°F (9.4°C) b – cuarto frío por 6 h a 52.3°F (11.3°C) c – aire forzado por 5-6 h a 53.7°F (12.1°C) d – cuarto frío por 5 h a 50.2°F (10.1°C) e – cuarto frío a 54.8°F (12.7°C)	a – cuarto enfriado a 59°F (15°C) b – cuarto enfriado a 58°F (14.5°C) c – cuarto enfriado a 59-61°F (15-16°C) (tienen unidad para aire forzado frío pero casi no la usan) d – aire forzado frío a 50°F (10°C) por 4-6 h e – cuarto enfriado a 58°F (14.4°C)	a – aire forzado 5 h a 50.8°F (10.5°C) b – no c –no d – aire forzado 6-7h a 48.9°F (9.4°C) e – aire forzado 8h a 53.6°F (12°C) f – aire forzado 9h a 47.8°F (8.8°C)

	Región A	Región B	Región C	Región D
Cont. Enfriamiento antes de embarcar			f – cuarto enfriado a 60°F (15.4°C) g – no enfriado, tienen cuarto frío pero no siempre lo usan h – cuarto frío a 61°F (16°C), pero no se usa mucho i – cuarto frío a 61°F (16°C) j – cuarto frío a 55-61°F (13-16°C) k – cuarto frío a 62.6°F (17°C), tienen aire forzado 5 h a 50°F (10CF) pero solo se usa cuando el distribuidor lo requiere l – cuarto frío a 54.3°F (12.4°C). tienen 2 túneles de aire forzado pero no parece que lo usen seguido	

Tolerancia del mango al agua caliente

La inmersión en agua caliente puede dañar la calidad del mango (Yahia y Campos, 2000). Generalmente las frutas pequeñas son las que se dañan más rápidamente por el calor, en parte porque se calientan más rápido. Por lo tanto, es necesario separarlos por peso y tamaño antes de los tratamientos con calor, con periodos cortos de tratamiento para frutas pequeñas. Paull y Armstrong (1994) reportaron que la temperatura y el tiempo de inmersión es potencialmente dañino en el mango y produce daños como escaldado en la piel, lunares (lenticel spotting) y falta de maduración en algunas partes del mango (pedúnculo). Los daños pueden diferir dependiendo de la variedad de mango. Algunos de los factores que han demostrado que reducen los daños a la fruta por calentamiento incluyen el retraso en el tratamiento por 24 horas después de la cosecha y tratar frutas más maduras (Esguerra y Lizada, 1990; Esguerra et al., 1990; Jacobi y Wong, 1990; Jacobi et al., 1994; 1995).

Spalding et al. (1988) reportaron que la inmersión en agua caliente a 115°F (46°C) por 60-90 min, seguido de almacenamiento por 3 días a 55.4°F (13°C) y madurar a 75°F (24°C) no causó daño en la calidad (tiempo de maduración, pH, acidez, ácido ascórbico, contenido de sólidos solubles) de mangos 'Tommy Atkins' o 'Keitt'. Sin embargo, los lunares fueron oscuros en la fruta 'Tommy Atkins' que se sumergió en agua a 115°F (46°C) por 120 min, en 'Keitt' que se sumergió en agua por 90 min a 115°F (46°C) y ambas variedades sumergieron por 60 min a 120°F (49°C). La pudrición por antracnosis se redujo en 'Keitt', y la pudrición del pedúnculo, causada por *Diplodia natalensis* o *Phomopsis citri*, se redujo en ambos cultivares que se sumergieron a 115 o 120°F (46°C o 49°C). La inmersión de mangos Oro por 75 min a 115°F (46.1°C) no causó daños a la fruta (Sharp et al. 1989a). Mango 'Kent', 'Tommy Atkins' y 'Keitt' que se sumergieron por 90 min y después se refrigeraron a 52°F (11.1°C) por 7, 11 o 14 días no sufrieron daños. Mangos 'Haden' que se sumergieron por 90 min a 115°F (46°C) y después se mantuvieron a 75°F (24°C) tuvieron una calidad aceptable (Sharp et al., 1989a). Tratamientos de mangos suaves como 'Ataulfo' en agua a 115°F (46°C) por 75 a 90 min no causaron daños visibles en el

mango, pero la fruta necesitó ser refrigerada a 52°F (11.1°C) después del tratamiento para retardar la maduración y dar tiempo a comercializarlo antes de la maduración (Sharp et al., 1989b).

El agua del sistema hidroenfriamiento debe tener un proceso de higiene con cloro o con otros desinfectantes para prevenir en lo posible el esparcimiento de patógenos provenientes de humanos (trabajadores) como *Salmonella enterica*, tal como ocurrió en el año 2000, donde enfermaron 15 personas y murieron 2 (Sivapalasingam et al., 2003). En el ejemplo descrito se descubrió que el origen inicial fue el agua usada para el hidro-enfriamiento, la cual estaba contaminada con las especies *Salmonella* y *E coli*. Cuando la fruta tratada con agua caliente pasa al hidro-enfriamiento, se puede ir dentro de la fruta ocasionando una contaminación interna si es que se encuentra en el agua.

Mejoramiento de la tolerancia de la fruta al agua caliente

A continuación se describe algunos pasos que pueden seguirse para mejorar el proceso del tratamiento en agua caliente y entonces mejorar sobre todo la calidad de mango en el Mercado de Estados Unidos. Antes de que la industria del mango considere buscar nuevas estrategias de alternativas de tratamientos cuarentenarios, incluso considerar la opción de no-tratamiento, deben de considerar seriamente el mejoramiento de los actuales procedimientos. La baja en la calidad del mango es con frecuencia atribuida a los protocolos de agua caliente, pero en nuestra opinión si el manejo de la fruta antes y después del tratamiento de agua caliente se optimizara, este tratamiento tendría efectos mínimos sobre la calidad de la fruta. Está muy claro que son muchas las oportunidades para mejorar considerablemente la calidad del mango, con algunos cambios muy simples en los procedimientos, algo de inversión en la infraestructura y más atención en ciertos detalles. Muchos de estos pasos pueden ser implementados muy fácilmente, pero algunos requerirán de un esfuerzo adicional.

Son muchas las diferencias entre las empacadoras e incluso dentro de las operaciones de manejo de la fruta. Algunos de los problemas que observamos

incluyen demoras en la recepción de la fruta en el sol a muy altas temperaturas. Además existe poco o nada de clasificación de frutas por defecto o por maduración antes o después del tratamiento de agua caliente, temperaturas elevadas por arriba de lo requerido durante el tratamiento de agua caliente se observó en algunos casos, mucha inconsistencia en el hidro-enfriamiento después del tratamiento de agua caliente (duración, temperatura del agua), retrasos al empacar la fruta a temperatura ambiente muy alta, manejo rudo durante el empacado, inconsistencias e inadecuados métodos de aplicación de ceras, inadecuados materiales en las cajas de empaque, las cuales pueden colapsarse ocasionando la inestabilidad en la tarima, poco o nada de enfriamiento de la fruta después del empaque y también se presentan inconsistencias en el enfriamiento de las unidades de transporte.

El tratamiento de agua caliente puede mejorarse siguiendo los siguientes pasos:

1. Asegurarse de que la fruta este madura previo al tratamiento. La fruta inmadura es más susceptible a sufrir daños con el agua caliente.
2. Evitar que la superficie de la fruta tenga contacto con el látex durante la cosecha – el daño puede exacerbarse dentro del agua caliente.
3. Mejorar el control de la temperatura en los tanques de agua caliente donde se necesite para permitir que el tratamiento tenga las temperaturas más cercanas a lo requerido. Incluso un grado más arriba de la temperatura requerida puede hacer la diferencia en la tolerancia de la fruta.
4. Siempre hidro-enfriar la fruta inmediatamente después del tratamiento de agua caliente (después de agregar los 10 min adicionales del protocolo del agua caliente), o después de los 30 minutos de demora siguiendo el tratamiento de agua caliente, aún si la fruta fuera empacada inmediatamente o si necesita ser empacado después, e incluso para la fruta que debe tomar 12 horas para revisar que no haya sufrido daño por calor.
5. El tiempo de hidro-enfriamiento debe ser suficientemente largo para alcanzar la temperatura de 80 a 85°F (27 a 29.4°C) en el centro de la pulpa (esto dependerá del peso de la fruta pero será cerca de 30 min). El aplicar

6. Mantener el agua limpia (asegurar la máxima higiene posible) de hidro-enfriamiento a 70 a 72°F (21-22.2°C) con suficiente capacidad de enfriamiento (condensador) para remover el calor de los mangos dado el volumen de la fruta a ser hidroenfriada.
7. Mantener niveles de higiene en el agua de hidro-enfriamiento para mantener niveles efectivos libres de cloro (50 a 100 ppm) o reducción potencial de oxidación (ORP) de 650 a 700 mV (Suslow, 2004).
8. Empacar las frutas tan pronto como sea posible después de hidro-enfriar. Si es necesario mantener la fruta por 12 horas después, enfriar antes de empacar, al menos 8 pulgadas de espacio debe haber entre las pilas de bins (Fig. 1E, F) y para ventilación (sobre las aspas del ventilador) o algunas otras cosas que se utilicen y que ayuden a reducir el calor alrededor de la fruta.
9. Pre-enfriar la fruta de nuevo usando aire forzado, inmediatamente después de empacar y antes de colocarla dentro del cuarto frío o contenedor frío. Las plataformas de carga deben arreglarse para restringir el flujo de aire, por lo que solo puede moverse a través de las cajas de frutas al ventilador. La temperatura del aire durante el enfriamiento con aire forzado debe ser de 48 a 50°F (9 a 10°C).
10. Colocar la fruta dentro del cuarto frío después de empacar si no es colocada inmediatamente en el camión refrigerado. Si la fruta necesita esperar para su embarque, esta siempre debe estar en el cuarto frío a temperaturas de 50 a 60°F (10 a 15°C).
11. Los contenedores de transporte deben pre-enfriarse antes de cargarse (a una temperatura no mayor de 54°F (12°C); fruta caliente o tibia nunca debe cargarse en un contenedor frío).
12. Llevar a cabo investigación para determinar si las bajas temperaturas de hidro-enfriamiento brindan un efectivo control de la mosca de la fruta ya sea con 30 minutos de retraso o los 10 minutos adicionales en el tiempo de tratamiento de

POSIBLES ALTERNATIVAS AL TRATAMIENTOS DE AGUA CALIENTE

Vapor caliente o aire forzado caliente

Para mangos embarcados a Estados Unidos desde Latino América, el tratamiento con agua caliente, es por mucho el tratamiento cuarentenario más común. De cualquier manera, el tratamiento cuyo uso se ha generalizado es el aire forzado caliente y el tratamiento de vapor caliente para mango (Tabla 3). Mientras tanto el tratamiento cuarentenario de inmersión en agua caliente es relativamente fácil de construir, los tratamientos de aire forzado caliente y el de vapor caliente requieren equipos más sofisticados además de complejos programas de computadora y monitorear los parámetros de los tratamientos y equipos.

Tratamiento de vapor caliente

El vapor caliente, el método más antiguo de los tres métodos de tratamiento cuarentenario por calor, consiste en calentar la fruta recién llegada moviendo aire caliente saturado con vapor de agua sobre la superficie de la fruta. El tratamiento con vapor caliente (TVC), es un tratamiento de aire con muy alta humedad. Cuando el mango esta a temperatura de punto de rocío, a la temperatura más baja, el aire se condensa en la superficie de la fruta, al condensarse se conducirá la energía caliente de la superficie hasta el centro en la pulpa de la fruta. El calor se transfiere del aire al producto por medio de la condensación del vapor de agua (condensación del calor) de la superficie relativamente fría de la fruta (Armstrong and Mangan, 2007). La fruta puede calentarse por más tiempo a una temperatura específica, la cual podría finalizar el tratamiento de calor, o bien la fruta puede mantenerse un tiempo específico (mantener el tiempo), lo que es requerido para matar a los insectos. Los tratamientos por lo general toman de 3 a 4 horas de inicio a fin del calentamiento.

Uno de los primeros usos del vapor caliente fue en México en el año 1913 para controlar la mosca Mexicana de la fruta (Hansen y Jonson, 2007). Este tratamiento de vapor caliente es utilizado en mangos exportados a Australia, Tailandia, Filipinas y Taiwan, particularmente para el mercado Japonés (Tabla 2). El antiguo tratamiento de vapor de agua para mangos 'Manila' aún está en la lista de aprobación, pero requiere de 6 horas manteniendo una temperatura en el centro de 43.3°C. Este tratamiento no es comercialmente utilizado.

Tratamiento de Aire Forzado Caliente (FHAT, por sus siglas en ingles)

El aire forzado caliente, también conocido como aire forzado a altas temperaturas, es una modificación del tratamiento de vapor caliente desarrollado por Armstrong et al. (1989) para matar la mosca Mediterránea de la fruta, la mosca del melón y los huevos de la mosca oriental de la fruta y las larvas en papaya. En esencia es igual que el vapor caliente excepto que la superficie de las frutas se mantiene seca durante el tratamiento de aire forzado caliente. Se ha mejorado el monitoreo de la temperatura y la humedad, así como la distribución del aire en los tratamientos de aire forzado caliente (Hallman y Armstrong, 1994), propiciando que estos tratamientos se desarrollen para productos que anteriormente se trataron con vapor caliente, así como para nuevos productos (Hansen y Johnson, 2007). Tratamientos de aire forzado caliente parecen ser tan efectivos en controlar plagas internas como el vapor caliente y brindan mejor calidad a la fruta (Laidlaw et al., 1996), convirtiendo el tratamiento en una opción viable para frutas previamente tratadas con vapor caliente. La temperatura de la piel de la fruta permanece fría durante los tratamientos de aire forzado caliente, no durante el tratamiento de vapor caliente mientras que el tejido justo bajo la piel se calienta a temperaturas letales debido a la ocurrencia de enfriamiento evaporativo en la superficie de la piel durante el aire forzado caliente a baja humedad relativa (ver figura 2; Shellie y Mangan, 2000). El tratamiento de aire forzado caliente es el segundo método más común de los tratamientos cuarentenarios con calor y actualmente es utilizado en las Islas Cook y Fiji y más recientemente en la cuenca del Pacífico (Tabla 2). El tratamiento de aire forzado caliente es utilizado

generalmente para papayas en Hawaii para embarcarlos hacia Estados Unidos con muy buenos resultados.

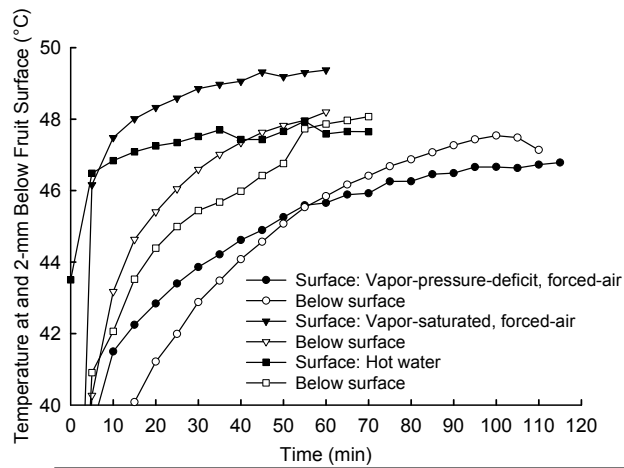


Figure 3. Promedio de temperatura en la superficie de la fruta (símbolos solidos) y a 2 mm por abajo de la superficie (símbolos abiertos) durante el calentamiento a 48°C por vapor, aire forzado (círculos), vapor de aire saturado (triángulos) y agua caliente (cuadros). Valores representan el promedio de 12 frutas (toronjas, naranjas, papaya y mango) (Shellie and Mangan, 2000).



Figura 4. Una unidad de aire forzado en México utilizada para toronja

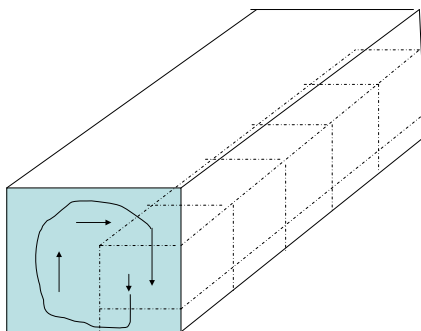


Figura 5. Un esquema de una unidad de aire forzado con cajas de frutas

En México, existen 4 establecimientos de aire forzado caliente en Michoacán (Fig 4), Nuevo León y Yucatán, las cuales fueron diseñadas por la misma persona, específicamente para tratamiento de cítricos (la mayoría toronjas), aunque los de Michoacán también se utilizan para mango. Todas utilizan vapor caliente. En Hawaii, las frutas son colocadas en un espacio amplio en

cajones sobre una malla de alambre (Fig 5). En Michoacán, algunos establecimientos acostumbran a comprar el mango. La fruta es separada en lotes por campo o por procedencia y es cargada en rejillas de metal con aberturas por debajo para permitir la entrada de aire, el cual entra por debajo y fluye a través de las frutas hasta llegar arriba. El flujo de aire puede regresarse a medio camino del tratamiento para incrementar la uniformidad del calentamiento dentro de la rejilla de la fruta. Los usuarios reportan que la uniformidad del calentamiento dentro de la carga estuvo muy bien, pero con frecuencia uno o dos sensores no leyeron lo mismo que los otros. A menudo se observa que la prueba de temperatura no está trabajando adecuadamente, o bien no está bien insertada en la fruta. Si esto pasara con más de un sensor, debe aplicarse de nuevo el tratamiento a la carga completa. Como es el caso con todos los tratamientos cuarentenarios las instalaciones deben certificarse al inicio de la temporada. Para aire forzado caliente, se requiere de un mapeo térmico de la cámara, los resultados de las pruebas determinarán la localización donde dará inicio cada tratamiento. En México, USDA-APHIS requiere 40 sensores durante el mapeo térmico de la cámara para medir la temperatura de las frutas en posiciones regulares a través de la carga al inicio de la temporada. De cualquier manera, en el 2008, el número de pruebas requeridas para el ejercicio de mapeo térmico se incrementó a 80.

Las compañías que han manufacturado equipo para tratamientos de aire forzado caliente incluyen FoodPro Internacional (ubicada en San José, Calif. USA; www.foodpro.net), Commercial Dehydrator Systems Inc. (Eugene, Oregon, USA. www.dryer.com), Techni Systems Inc. (Chelan, Washington, USA; www.techni-systems.com); Sanshu Sangyo (Kagoshima, Japón; Figura 6; info@sanshu.co.jp) y Takenaka Komuten (Tokio, Japón; www.takenaka.co.jp). La infraestructura para estos tratamientos es



Figura 6. Una unidad de aire forzado de Sanshu Sangyo Co., LTD, Japan.

Tabla 2. Uso de aire forzado caliente y tratamiento de vapor caliente utilizado para mango en diferentes países.

País Exportador	País Importador	Tratamientos y Parámetros
Australia	Japón	Vapor caliente a 116.6°F (47°C) temperatura de la pulpa, manteniéndola a 15 min ('Kensington' mango)
Islas Cook	Nueva Zelanda	Aire forzado caliente en el centro del fruto 117°F (47.2°C), Manteniéndola por un periodo por 20 min (solo usado comercialmente en papaya)
Fiji	Nueva Zelanda, Australia	Aire forzado caliente al centro del fruto temp. 117°F (47.2°C), constante por 20 min
México	Estados Unidos	Aire forzado caliente al centro del fruto temp. a 118.4°F (48°C), 2 min constante
Nueva Caledonia	Nueva Zelanda	Aire forzado caliente al centro temp. A116.6°F (47°C), 20 min constante
Filipinas	Australia, Estados Unidos, Japón, Nueva Zelanda, Corea	Vapor caliente por 115°F (46°C), 10 min constante ('Carabao' mango)
Taiwán	Estados Unidos	Vapor caliente al centro temperatura de 116°F (46.5°C), 30 min constante ('Irwin' y 'Haden' mangos)
Tailandia	Japón	Vapor caliente al centro temperatura de 116°F (46.5°C), 10 min periodo constante ('Nang Klang Wun' mango) Vapor caliente a 116.6°F (47°C) temperatura de la pulpa, 10 min constante ('Nam Doc Mai', 'Pimsen Dang', 'Rad' mango)

Tonga	Nueva Zelanda	Aire forzado al centro temp. of 117°F (47.2°C), 20 min constante
EUA (Hawái)	Nueva Zelanda, EUA	Aire forzado caliente al centro temperatura de 117°F (47.2°C) en >4 horas

Adaptado de Armstrong y Mangan (2007)

relativamente costoso (\$120,000 dólares con una capacidad de carga de 8 toneladas) (Armstrong and Mangan, 2007). De acuerdo con Armstrong y Mangan (2007), el equipo de inmersión en agua caliente cuesta la tercera parte del equipo de aire forzado caliente para tratar la misma cantidad de fruta basado en los costos operacionales. Una consideración importante en el costo del equipo de tratamiento cuarentenario es la cantidad de fruta a tratarse. A mayor cantidad de producto, menores serán los costos de tratamiento. En Hawaii, los costos para aire forzado caliente o tratamiento de vapor caliente en papaya oscilan entre 0.17 dólares a 0.31 dólares por libra (0.45 Kg) de fruta tratada. Otros factores que deben incluirse en el costo son la construcción de establecimientos, mano de obra, refrigeración, energía y transporte (Armstrong y Mangan, 2007). Las diferentes variedades de mango se tratan con diferentes condiciones de temperatura de calor interno y de tiempo, debido a sus diferencias en peso y tamaño.

Atmósferas Controladas a Altas Temperaturas (CATTS, por su sigla en inglés)

Este tratamiento combina el estrés del calentamiento con el estrés atmosférico (haciendo referencia a la modificación de la atmósfera, AM; ó atmósfera controlada, AC), debido a la reducción del oxígeno y/o elevadas concentraciones de dióxido de carbono (Neven y Mitcham, 1996). Atmosferas con niveles bajos en oxígeno y elevados de dióxido de carbono son eficientes en aniquilar varias plagas de insectos, pero generalmente se aplica en ambientes de bajas temperaturas (Yahia, 2006; Yahia, 2009; Mitcham et al., 2003). El tiempo necesario para que mueran los insectos es más rápido entre más altas sean las temperaturas (Yahia, 2006, Yahia y Ortega, 2000). Junto con el aire forzado caliente, se utiliza nitrógeno para remplazar al oxígeno, además se agrega dióxido de carbono. Los mecanismos de control se utilizan para incrementar la demanda respiratoria de los insectos con los tratamientos de calor, mientras que al mismo tiempo se modifican las atmósferas, ambos contribuyen a la muerte de los insectos. El tiempo necesario para los tratamientos a altas temperaturas en atmósferas controladas pueden ser la mitad de los tratamientos calientes solos.

Los tratamientos con atmósferas controladas en combinación con aire forzado caliente han sido probados para control para la mosca mexicana de la fruta y para la mosca de Antillas en mangos 'Manila' (Yahia y Ortega, 2000; Ortega y Yahia, 2000). Mangos 'Manila' pueden tolerar el tratamiento con 0% de O₂ y 50% CO₂ a temperaturas menores de 44°C y 50% HR por 160 min (Ortega y Yahia, 2000), pero el daño ocurre a 44°C y este se incrementa en la medida que se incrementa la temperatura. De cualquier manera a temperaturas menores de 44°C se puede controlar las plagas de las dos moscas de la fruta sin dañar a la fruta (Yahia y Ortega, 2000).

Altas temperaturas en tratamientos de atmósferas controladas fueron aprobados por la USDA-APHIS para exportación de nectarinas, cerezas dulces y manzanas para controlar el gusano de la polilla (*Cydia pomonella*), el gusano oriental de la fruta (*Grapholita molesta*) y la mosca de la cereza (*Rhagoletis indifferens*) (Neven & Rehfield-Ray 2006). De cualquier manera, estos tratamientos todavía no son aprobados para productos importados en los Estados Unidos. Mayores detalles se pueden consultar en el Manual de Tratamientos de la USDA APHIS (http://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/ports/downloads/treatment_pdf/05_07_t600schedules.pdf).

Tratamientos para diferentes frutas:

- Cereza dulce: gusano de la polilla y mosca de la fruta en cereza
 - 25 min a 116.6°F (47°C) con 1% O₂, 15% CO₂
 - 45 min a 113°F (45°C) con 1% O₂, 15% CO₂
- Manzanas: gusano de polilla y el gusano oriental de la fruta
 - 12°C/h, 3h, cámara a 115°F (46°C) con 1% O₂, 15% CO₂
- Frutas de hueso (stone fruit): gusano de polilla y gusano oriental de la fruta
 - 12°C/h, 3h, cámara a 115°F (46°C) con 1% O₂, 15% CO₂
 - 24°C/h, 2.5h, cámara a 115°F (46°C) con 1% O₂, 15% CO₂

Está muy claro que atmósferas controladas a altas temperaturas pueden ser una opción exitosa para controlar la mosca de la fruta, asumiendo que el tratamiento eventualmente sería aprobado para fruta importada a los Estados Unidos. Se necesita más investigación respecto a la tolerancia de cada variedad de mango para optimizar la temperatura y atmósfera a utilizar y así lograr un efectivo control de la mosca de la fruta. Son algunos variables que pueden causar fallas y deben ser monitoreadas, incluyendo las concentraciones de oxígeno y de dióxido de carbono, así como la temperatura. No está claro si el acortar el tiempo del tratamiento o mejorando la calidad de la fruta garantiza el gasto extra de los equipos, sin embargo, este tratamiento es una opción digna de tomarse en consideración. Esto especialmente cuando todavía no se han hecho las grandes inversiones en instalaciones para tratamientos de aire forzado caliente. Los tratamientos de Atmósferas Controladas Insecticidas podrían investigarse a temperatura ambiente (68-77°F; 20-25°C), donde los insectos podrían controlarse en un periodo de 48 a 72 horas (Yahia, 2006). Si esta aproximación es factible, entonces una cantidad de energía muy significativa (tanto para calentar como para enfriar después del proceso de calentamiento) podría ahorrarse. Las compañías que construyeron CATTs, incluyen los siguientes: Techni-Systems, Inc. (Chelan, WA; USA; www.techni-systems.com) y EcO2, Inc. (Holanda; www.eco2.nl/UK/index.htm).

Irradiación

La irradiación de alimentos es un proceso en el cual los productos son expuestos a radiación ionizante para esterilizar o matar los insectos, así como a las plagas microbianas dañando su ADN. En 1986, la FDA (Food and Drug Administration) de Estados Unidos aprobó el uso de tratamientos de radiación por hasta 1kGy (100 krad) en frutas y vegetales. La fuente de la radiación podría proveerse tanto por rayos gamma de cobalto-60 o cesio-137, electrones generados por fuentes de poder (rayos-e), o por rayos-X. Las dosis absorbidas se miden como la cantidad de radiación transmitida por unidad de masa en materiales específicos. Las dosis absorbidas por las unidades es el gray (Gy) donde 1 gray es equivalente a 1 joule por kilogramo.

Se ha enfocado al uso de la irradiación en frutas y vegetales para la extensión de la vida de anaquel y reducción de la pudrición. Se ha reconocido ya por varias décadas que la irradiación es un método efectivo para matar, esterilizar y prevenir el desarrollo de una amplia variedad de plagas de insectos de importancia cuarentenaria en frutos perecederos y vegetales. Algunas investigaciones han demostrado que las dosis requeridas para la esterilización de la mayoría de los insectos son menos de 0.75kGy; mientras que las dosis requeridas para un efectivo control de la pudrición son con frecuencia altas como de 1 kGy. Hasta hace muy poco, el único tratamiento de irradiación aprobado para uso cuarentenario para el mercado de Estados Unidos fue para el traslado de papaya de Hawaii al territorio de Estados Unidos. El protocolo requiere que las papayas se traten en Hawaii con 150 Grays de radiación ionizante para control de la plaga de la mosca de la fruta. Desafortunadamente este protocolo que fue aprobado en 1989, nunca ha sido utilizado, en parte debido a que las instalaciones para irradiación no fueron aprobadas para construirse en Hawaii sino hasta casi 10 años después. Lo cual destaca uno de los principales retos para los tratamientos de irradiación, que es la construcción de los establecimientos.

En Mayo de 1996, la USDA-APHIS publicó un informe en el Registro Federal, acerca de su posición concerniente al uso de la irradiación como tratamiento cuarentenario para plagas en vegetales. Se propusieron dosis genéricas que después se aceptaron para combatir varias especies de mosca de la fruta como se muestra en la Tabla 3. Las dosis fueron genéricas en el sentido de que fueron prescritas a pesar de considerar el producto. Donde existe la posibilidad de que más de una especie de la mosca de la fruta este presente, la dosis debe ser la adecuada para la más tolerante de las especies. Esta aproximación genérica es el clásico inicio de un tratamiento cuarentenario cuyos protocolos son aprobados por la USDA, los cuales tenían ambos; las especies de insectos y los productos específicos. Las dosis de irradiación que se necesitaban para matar a los insectos son más altas que pueden tolerar las frutas y vegetales, por lo que la única otra alternativa a considerar de los tratamientos de irradiación fue la de esterilizar al insecto mas no matarlo. En el caso de la mosca de la fruta, APHIS estableció el criterio para una dosis exitosa como la no emergencia en

adultos, y prevención con estrategias de control si se detectan en trampas dentro de áreas libres de mosca de la fruta. Investigaciones adicionales apoyan los cambios de estas dosis mínimas en el futuro (Torres-Rivera y Hallman, 2007).

USDA APHIS aprobó el uso de irradiación para tratar fruta de importación a los Estados Unidos en el 2002, pero solo fue en el 2007 que la India empezó a embarcar fruta irradiada hacia Estados Unidos. Algunos países están desarrollando planes de trabajo con APHIS para iniciar acuerdos bilaterales de productos irradiados con propósitos fitosanitarios (Follet y Griffin, 2006). La irradiación se ha utilizado desde el 2004 para desinfectar mango de mosca de la fruta, embarcado de Australia a Nueva Zelanda sin reportar ningún incidente de consideración (Torres-Rivera y Hallman, 2007).

Tabla 3. Dosis genéricas de irradiación para el control de algunas moscas de la fruta (*Tephritid species*)

Nombre común	Nombre científico	Dosis mínima absorbida (Gy)
Mosca oriental de la fruta	<i>Bactrocera dorsalis</i>	250
Mosca Mediterránea de la fruta	<i>Ceratitis capitata</i>	225
Mosca del melón	<i>Bactrocera cucurbitae</i>	210
Mosca caribeña de la fruta	<i>Anastrepha suspensa</i>	150
Mosca Mexicana de la fruta	<i>Anastrepha ludens</i>	150
Mosca Antillana	<i>Anastrepha oblique</i>	150
Mosca del zapote	<i>Anastrepha serpentine</i>	150
Mosca de la fruta Queensland	<i>Bacterocera tryoni</i>	150
Sin nombre común	<i>Bacterocera jarvisi</i>	150

De acuerdo con APHIS, cuando las plagas o estadios vivos se encuentran en productos que habían pasado por un tratamiento de cuarentena donde se prescribió y aprobó el tratamiento de irradiación se considerara como tratamiento efectivo, sin que exista evidencia alguna que nos indique que la integridad del tratamiento fue

inadecuada. Esto significa que cuando la irradiación es utilizada como tratamiento cuarentenario, debe haber un buen grado de confiabilidad en el trato.

Instalaciones para Irradiación

Aunque los rayos gamma, electrones de alta energía y los rayos-x todos tienen efectos similares, los rayos gamma son comúnmente utilizados por que muestran habilidad de penetrar hasta el fondo de la carga de alimentos en las tarimas. El equipo de irradiación Gamma, irradia los paquetes o bultos de productos por exposición del producto a la energía gamma por cobalto-60 en cámaras cerradas, las cuales varían en tamaño desde un simple módulo de una tarima hasta grandes instalaciones por contrato.

Los costos actuales de la irradiación de alimentos están en función de las dosis requeridas, la tolerancia del alimento a la irradiación, las condiciones de manejo (requerimientos de empaque y embalaje), costos de construcción, arreglos de financiamiento y otras variables que dependen de cada situación en particular (Forsythe y Evangelou, 1993). La irradiación requiere intensiva inversión de capital en tecnología, y una sustancial inversión inicial que varía de 1 a 3 millones de dólares. Casi la totalidad de la inversión se destina a la fuente de radiación (cobalto-60), equipos (irradiador, bandas transportadoras, sistemas de control), terreno (de 1 a 5 acres), escudos contra radiación y el almacén (de preferencia con cuarto frío). Los costos de operación incluyen sueldos (para empleos fijos y eventuales, los cuales deben estar bien capacitados), mobiliario, mantenimiento, impuestos/seguros, cobalto-60, reabastecimiento, etc. Las plantas de irradiación son muy costosas y estas podrían ser más económicas si se utilizaran todo el año. De cualquier manera, la producción de frutas frescas y vegetales es de temporada. Esto requiere de instalaciones que puedan compartirse con otro tipo de productos con diferentes temporadas de cosecha.

Integridad del Sistema

Se requiere de algunas políticas que aseguren la integridad de los sistemas en la aplicación de la irradiación como tratamiento fitosanitario. Estas políticas deben enfocarse en las condiciones de pre-tratamiento que también requiere documentación y monitoreo. Antes del tratamiento, los empacadores e instalaciones deberán mantener registros concernientes a la fuente de los productos, como fueron almacenados y manejados y los requerimientos de empaque. Durante el tratamiento, las dosis absorbidas deben medirse y monitorearse, lo cual incluye un mapeo de las dosis mínimas y máximas utilizando un dosímetro calibrado. Después del tratamiento las plagas continuaran vivas y desarrollándose. Por lo tanto, solo resta la confianza en que el tratamiento de irradiación aplicado fue el adecuado, con el aseguramiento de que el tratamiento fue eficaz en contra de las plagas bajo condiciones específicas y que fueron propiamente conducidas para la seguridad del producto. Esto requiere de estrictos procedimientos de seguridad y sistemas diseñados y monitoreados muy atentamente para la liberación de tratamientos y asegurar la integridad de los sistemas. Después del tratamiento, debe anotarse en una etiqueta en el empaque los números de lote tratado para tener un seguimiento si fuera necesario.

Consideraciones del consumidor

El consumo de alimentos irradiados a dosis de hasta 10 kGray se considera seguro por la Organización Mundial de la Salud (WHO), por la Organización de Alimentación y Agricultura (FAO) y por la Agencia Internacional de Energía Atómica. Mientras tanto los consumidores se muestran preocupados con la seguridad y los riesgos que pudieran presentarse en la tecnología de irradiación, hasta ahora la investigación han indicado que los alimentos adecuadamente irradiados son seguros (Thorne, 1983, OTA 1985). Algunos estudios han demostrado el incremento en la aceptación de los consumidores de los productos irradiados en Estados Unidos, pero todavía permanecen temas pendientes en políticas públicas serias. Algunas compañías de productos frescos todavía rechazan la irradiación por el temor de la reacción de los consumidores, pero estas actitudes tienden a cambiar con el tiempo.

Consideraciones de dosimetría

La tolerancia del mango a los tratamientos de irradiación es generalmente buena, pero todavía hay algunas diferencias entre las variedades y estadios de madurez (Tabla 4). Al incrementar la dosis tolerada por el mango disminuye el costo del tratamiento. Si el producto es tratado en tarimas o en bandas, lo cual es viable con cobalto-60 o cesium137 como fuente de irradiación, para que la fruta en el centro de la carga reciba 150 Grays, el producto externo pudiera recibir dosis de 2 a 6 veces más alta (de 300 a 900 Grays). Dosis más altas pueden causar daño a algunos mangos. La más alta relación de dosimetría (de las dosis más bajas a las más altas aplicadas a una carga de frutas) entre más flexibilidad tenga el operador, resultara en costos más reducidos.

Por el hecho de desensamblar una tarima y tratar el producto en cajas, el rango de dosis recibida por el producto podría ser mucho menor, pero el costo del tratamiento podría ser muy alto comparado con la tarima irradiada, debido a la mano de obra involucrada. Sin embargo, podría ser similar a la banda irradiada debido a que estas cajas necesitan ser re-paletizadas. Los rayos-e son incapaces de penetrar más de 3 pulgadas (8 cm), lo que significa que los mangos tratados en instalaciones con rayos-electrón necesitan estar en cajas individuales.

Tolerancia del mango a la irradiación

El daño a la fruta por irradiación está en función de la variedad, de las dosis de irradiación y de la madurez de cosecha al momento del tratamiento (Boag et al., 1990; Singh, 1990). Los síntomas de irradiación están ligados con el estrés en frutas y vegetales incluyendo el rápido ablandamiento, maduración desigual y daño en la superficie. Al estrés por irradiación se le deben agregar otros tipos de estrés (físico, enfriamiento, agua, etc.), los cuales deben evitarse para minimizar los efectos negativos de la radiación ionizante en productos frescos. La irradiación gamma se ha probado en mango para el control de la maduración, de enfermedades y de insectos. Las dosis de irradiación que mata a los insectos puede algunas veces dañar la fruta. La Tabla 4 nos

Tabla 4. Respuestas de algunas variedades de mango a tratamientos de irradiación.

Variedad	Dosis	Respuesta	Referencia
Alphonso	0.5 – 2 kGy	Lunares negros y ennegrecimiento	Dharkar et al. 1966
	250 Gy	10 días de retraso en la maduración sin daños	Dharkar y Sreenivasan 1972
	> 250 Gy	Daños fisiológicos, se acelera la maduración	Sreenivasan et al., 1971
Haden			
Verde Maduro	≥ 250 Gy	Piel escaldada	Akamine y Goo, 1979
¼ a ¾ madurez	Hasta 750 Gy	No presenta daños cuando se trata después de 5 días a temperatura ambiente	Akamine y Goo, 1979
¼ madurez	≥ 750 Gy	Piel escaldada cuando se trata después de 6 días a 55°F (12.8°C)	Akamine y Goo, 1979
½ madurez	1 kGy	Escaldado cuando se trata después de 6 días a 55°F (12.8°C)	Akamine y Goo, 1979
	> 1 kG	Daño en la pulpa, fallas en la maduración, sin sabor.	Akamine y Goo, 1979
Irwin	100–150 Gy	Poco deterioro del sabor	Hatton, 1961
Keitt	600-900 Gy	No se alarga la vida de anaquel, pero es preferido sensorialmente	Lacroix et al., 1992
	≥ 500 Gy	Reduce la pudrición, piel escaldada	Spalding y Von Windeguth 1988

Cultivar	Dosis	Respuesta	Referencia
Kent (inicio de color)	1.5 a 3 kGy	Reblandecido	Ahmed y Dennison, 1971
Kensington Pride			
Verde Maduro	≥ 300 Gy	Retrasa la maduración, daños por lenticela, reduce el ácido ascórbico	McLauchlan et al., 1990
	750 Gy	Incrementa la respiración, inhibe el desverdecimiento	McLauchlan et al., 1990
Nahng Glahng Wahn	630 Gy	Sin efectos en textura, de preferencia en pruebas sensoriales	Lacroix et al., 1992
	560–700 Gy	Controla la pudrición (antracnosis y SER), sin efectos en la composición	Lacroix et al., 1991
Pirie	1 kGy	Piel bronceada, sin sabor	Thomas, 1977
Sensation	100-150 Gy	De sabor un poco desigual	Hatton, 1961
Tommy Atkins	150 Gy	Retraso de maduración de 2 a 3 días	Spalding y von Windeguth, 1988
	≥ 500 Gy	Escaldado como descascarado	Spalding y von Windeguth, 1988

Cultivar	Dosis	Respuesta	Referencia
Tommy Atkins (cont.)	1 a 3.1 kG	Inhibe la síntesis de carotenos y reduce el ácido ascórbico en almacena-miento	Reyes y Cisneros Zevallos, 2007
	>1 kG	Ablandamiento, muerte de células	Reyes y Cisneros Zevallos, 2007; Moreno et al., 2006
	≥ 3.1 kGy	No satisfactorio para los panelistas del sensorial	Reyes y Cisneros Zevallos 2007

muestra un resumen de una variedad de mango que responde a un tratamiento de irradiación de acuerdo a los reportes de literatura.

El ablandamiento de mango no se redujo por la irradiación en un rango de 0.1 a 1.2 kGy (Boag et al., 1989). Frutas parcialmente maduras y en su estado climatérico no se afectaron mucho por la irradiación: mangos Haden de una de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ de maduración no mostraron cambios significativos en la velocidad de maduración cuando fueron tratados a 250 Grays (Akamine y Goo, 1979).

Varios investigadores han explorado los efectos potenciales de los tratamientos de irradiación en la composición de la fruta de mango, incluyendo azúcares, ácidos, β -caroteno, antioxidantes y calidad sensorial. Mangos Keitt irradiados (irradiación gamma a 600-900 Gy) fue bien aceptada por el color, olor, sabor y textura hasta después de 9 días de almacenamiento (Lacroix et al., 1992). Sin embargo, Hatton et al. (1961) reportó sabores anormales en mangos 'Irwin' y 'Sensation' después de dosis de irradiación de 100 a 150 Grays. Sin embargo, se reportaron pérdidas en vitamina C en mango irradiado a dosis mayores de 750 Gy (Wenkam y Moy, 1968).

Control de la pudrición

La incidencia de pudrición por antracnosis se reduce en la medida que se incrementa las dosis a 600 Gy (Johnson et al., 1990). Sin embargo, los tratamientos por irradiación con dosis de hasta 1 kGy no proveen un completo control de la pudrición por antracnosis. Algunos investigadores han encontrado que la combinación de inmersión en agua caliente seguido de tratamientos de irradiación brinda un buen control de enfermedades de postcosecha. Dosis de 750 Gy combinada con agua caliente a 104°F (40°C) por 20 min o 122°F (50°C) por 5 min es un tratamiento efectivo para controlar enfermedades en mango (Brodrick, 1979; Kohima y Buddenhagen, 1967). Spalding y Reeder (1986) redujeron la pudrición en mango con una combinación de 127.4°F (53°C), inmersión en Imazalil seguido por irradiación a 200 Gy.

Debido a que la utilización de dosis mayores de los límites altos facilita la logística y reducen los costos, existe un potencial peligro de que la fruta pudiera ser expuesta a dosis más altas de las que pueden tolerar, mientras tanto estaría expuesta a la dosis fitosanitaria mínima. Esto resultaría en problemas de calidad en caso de que se llevara a la práctica, aunque dependerá de la tolerancia de la variedad del mango a la irradiación.

Establecimientos Comerciales de Irradiación para Frutas

Ejemplo en Hawaii: En Hawaii, los establecimientos para irradiación disponibles se manejan con fuente de rayos electrón/rayos x, cuya penetración es similar a los rayos gama. El producto es apilado como máximo con 3 cajas en una transportadora de metal y se mueve a través del establecimiento pasando dos veces por la fuente. Esto mantiene las dosis max/min recibidas bajas a 1.5 para la mayoría de los productos. Las instalaciones tienen capacidad para tratar 30 millones de libras por año, si se trabaja durante 3 turnos al día, pero actualmente solo se usa de 1/3 a 1/2 de su capacidad. De acuerdo con Meter Follet de USDA-ARS, el costo depende del producto a ser tratado. Para papaya y camote, el costo es de \$0.15 dólares por libra y para rambután, litchi y longan es de 0.50 por libra. Hawái está considerando en construir instalaciones para la irradiación gamma en el futuro cercano.

Ejemplo en México. Un establecimiento ya con muchos años, continúa operando en Palo Alto cerca de la ciudad de México. Se han llevado a cabo muchas pruebas en esta instalación en colaboración con USDA y FAO por algún tiempo y con varias frutas, incluyendo mango y cítricos, pero hasta ahora no irradian fruta con propósitos comerciales. Recientemente se ha establecido una nueva instalación (Sterigenics) en el estado de Hidalgo, cerca de la ciudad de México. Sterigenics Inc, planea empezar a tratar guayaba en el futuro cercano, tan pronto como el gobierno de México apruebe el uso de irradiación para tratamientos cuarentenarios en fruta y también están explorando la posibilidad de tratar mango. Oficiales de USDA-APHIS visitaron las instalaciones de Sterigenics en México a mediados de Septiembre del 2008 para certificar las instalaciones para tratamiento en guayaba y mango. Sterigenics ha colaborado con científicos universitarios en México para probar la tolerancia de guayaba a la irradiación con dosis arriba de 1Kgy y planean hacer las mismas pruebas con mango. Estas pruebas están investigando efectos de región, maduración y efectos en la variedad, en la tolerancia y en la dosis de irradiación. Ellos quieren conocer cuál es la tolerancia más alta, porque entre más alta es esta, más flexibilidad puede ser tratado el producto, determinando con ello cuales productos pueden ser tratados al mismo tiempo y con similares características. Sterigenics está especialmente interesado en mango 'Manila' el cual no tolera bien el tratamiento con agua caliente. Así mismo están considerando construir más instalaciones en México si el trabajo preliminar con frutas frescas resulta exitoso.

Sterigenics es una compañía con establecimientos en diferentes partes del mundo con instalaciones de irradiación en varios países, algunas de estas proveen irradiación gamma y otros proveen irradiación con rayos-electrón. Sus instalaciones cerca de la ciudad de México, han estado operando por 8 años y hasta ahora ha tratado alimentos deshidratados y suministros médicos. Los directivos de esta compañía indican que ellos pueden tratar un radio de dosimetría de hasta 4, el cual puede proveer 600 Grays como máximo y terminar a 150 Grays como mínimo; de cualquier manera ellos prefieren un radio de aproximadamente 6.5 permitiéndoles ir

hasta 1 kGray. Estas instalaciones tienen una capacidad aproximada de 25,000 libras de fruta por hora, cuando todos los productos tienen las mismas características. El precio para productores y exportadores depende de varios factores: 1) dosis requerida, 2) eficiencia en la banda de carga y 3) volumen del producto tratado. Para guayaba, el precio tentativo estimado es de \$0.25 dólares por libra. Este número podría ser más alto para mango debido a que la eficiencia en la banda de carga podría ser más lenta.

La fruta en estos sistemas debe cargar en una banda en movimiento que pasa por la fuente radioactiva (Fig 7). Las bandas de aluminio son de 59 cm x 142 cm de alto. Cada banda tiene un piso falso para permitir que el producto sea fácilmente cargado sobre la banda. Entre más se baja al piso más producto puede agregarse. El piso falso es de acero inoxidable y es elevado y bajado por medio de pistones. Son 45 las bandas expuestas a irradiación al mismo tiempo y rotan en una especie de serpentina a través de un laberinto, por lo que cada lado de la banda es tratada por igual. El ciclo más corto a través del irradiador es de 1.5 min por posición (1.5 x 45 posiciones = 90 min) como mínimo.

Las instalaciones de Sterigenics en la ciudad de México actualmente no cuentan con almacén refrigerado o capacidad de enfriamiento. Sin embargo, pueden programar tratamientos para productos congelados o enfriados y después del tratamiento regresarlos al transporte refrigerado rápidamente. Sin embargo, están abiertos a la posibilidad de incluir cuartos fríos en las instalaciones para tratar la mayor cantidad de productos frescos posible.

Tratamientos por Micro-hondas o Radio Frecuencia

La región de micro-hondas de espectro electromagnético es de 1 a 100 GHz, entre infra-rojo y radio FM, y es muy cercano al rango de radio frecuencia. Las ondas de radio frecuencia (RF) son de rango de baja frecuencia del espectro electromagnético, con largas longitudes de onda. Las frecuencias aceptadas para uso industrial son 13.56, 27.12 y 40.68 Mhz (Tang et al., 2000). La RF genera energía interna caliente



La fruta en las cajas se carga en las bandas



Los pistones suben y bajan para facilitar la carga



El producto se mueve al area de tratamiento



La fuente de irradiación de cobalto 60, esta bajo el agua cuando el producto aun no esta tratado



Posicion de las bandas cuando el producto esta siendo expuesto a la fuente de irradiacion

Figura 7. El manejo del producto en la facilidad de irradiación de Sterigenics en Mexico

agitando las moléculas en la fruta con un cambio muy rápido en la carga dentro del campo eléctrico. Las ventajas del calentamiento de RF es que es muy rápido y puede penetrar más profundo y algunas veces calienta más a los insectos que a las frutas.

El tiempo requerido para incrementar la temperatura en el centro de la fruta a 116°F (47°C) en tratamientos de vapor caliente puede ser de 45 min o más, lo cual resulta en susceptibilidad en la fruta por daño por calentamiento (Varith et al., 2006). El calentamiento rápido por micro-hondas o energía por radio frecuencia puede reducir considerablemente el daño a la fruta. El concepto de tratamiento a “alta temperatura-poco tiempo” es posible acortando el tiempo de tratamiento mientras se mantenga el control de la mosca de la fruta con nivel Probit 9 (seguridad cuarentenaria). El concepto “alta temperatura-corto tiempo” es usado extensivamente en el procesamiento de alimentos para minimizar la degradación térmica de la calidad de los alimentos (Stumbo, 1973; Holdsworth, 1997). Tang et al., (2000) propuso la “alta temperatura-corto tiempo” como método térmico de cuarentena usando energía de radio frecuencia para controlar el gusano de la polilla en la cáscara de las nueces de 122 a 129°F (50-54°C). El calentamiento por micro-hondas ha sido probado en mangos para controlar el gorgojo del hueso de mango a finales de los años 60, pero los investigadores encontraron que la fruta aparentaba estar cocinada después del tratamiento. Más recientemente, Varith y Kiatsiriroat (2004) estudiaron el calentamiento por micro-hondas en mango 'Chokanan' con 2,450 Mhz/8w en horno de micro-hondas y encontraron un incremento en la temperatura interna por arriba de 115°F (46°C) en 40 segundos. La distribución de calor dentro de la fruta depende básicamente de la orientación que tengan, el poder del horno del micro-hondas y el tiempo del tratamiento. La posición horizontal del mango tratado con 50% del poder proporciona una mejor distribución del calor que de manera vertical.

Los estudios de Varith y colegas en el 2006, hacen una comparación de la combinación de micro-hondas seguido del tratamiento de vapor caliente con un tratamiento estándar de vapor caliente (calentado con 131°F, 55°C) hasta que alcance la temperatura del centro a 116°F (47°C) y mantenerlo por 18 minutos en mangos

'Nandokmai Si Thong'. El mango se expuso a 50% del poder usando 2,450 MHz/800 watt en el horno de micro-hondas. El mango primero se colocó de manera horizontal dentro del horno y estuvo rotando mientras se calentaba en el horno de micro-hondas, con poder de 400 w por 40 segundos. En segundo lugar, el mango se colocó de manera vertical y la radiación se enfocó en la parte más ancha de la fruta. El proceso final fue el tratamiento de vapor caliente (vapor saturado) a 131°F (55°C). Después del tratamiento la fruta fue hidro-enfriada con agua a 80.6°F (25°C) por 30 minutos. Tomó 2 minutos para elevar la temperatura del centro del mango a 116°F (47°C) con calentamiento en Micro-hondas. Cuando se mantuvo el tiempo de 7 minutos en 131°F (55°C) se agregó el vapor caliente, con lo cual se logró la mortalidad de los huevos de la mosca oriental de la fruta. Solo se obtuvo el 96 de la mortalidad con el tratamiento de vapor caliente y aire a 113°F (55°C) y se mantuvo por 18 minutos cuando se alcanzó el corazón de la fruta a 116°F (47°C). La combinación del tratamiento no causó oscurecimiento de la piel, mientras que el tratamiento de vapor caliente si lo hizo. También, los daños internos se redujeron con la combinación del tratamiento, con solo capas internas muy delgadas en la punta del hueso. Estos tratamientos aun están muy lejos de la perfección, a muy pequeña escala utilizando tratamientos relativamente sencillos en frutas, los resultados hasta ahora nos indican una prometedora aproximación.

Sin embargo, cuando múltiples frutas frescas son horneadas, deben sumergirse en una solución salina para prevenir quemaduras en la fruta al tener puntos de contacto con otras frutas debido a la concentración eléctrica de energía en los puntos de contacto. Estudios A pequeña escala con calentamiento de radio frecuencia de fruta fresca en solución salina, ha demostrado ser prometedor en cereza dulce (Monzón et al., 2006) y especialmente en pérsimos (Monzón et al., 2007) y guayabas.

La combinación de calentamiento con radio frecuencia e inmersión en agua caliente ha sido explorada para varias frutas, incluyendo manzanas (Wang et al., 2006a), naranjas (Birla et al., 2005) y cerezas dulces (Monzón et al., 2006). Se probó el uso de agua caliente asistida con RF para el control de la mosca mediterránea de la fruta

en naranjas, usando exposición al calor, previamente había demostrado que provee una mortalidad del 100% de la mosca mediterránea de la fruta (Gazit et al., 2004).

La fruta fue pre-calentada a 95°F (35°C) en agua (a una temperatura que no cause daño a la fruta) por 45 minutos previo al calentamiento por RF a 118°F (48°C) y manteniendo la temperatura de la fruta por 15 minutos. Este tratamiento controló a la mosca mediterránea de la fruta sin afectar la calidad de la fruta (Birla et al., 2005). Las cerezas toleraron mejor un tratamiento similar que el tratamiento de agua caliente solo. De cualquier manera, una aproximación similar se llevó a cabo con manzana pero resultó en un excesivo daño a la fruta.

Las implicaciones prácticas para la implementación de la radio frecuencia o tratamientos con Micro-hondas muestran dificultades para la fruta fresca en sistemas de gran escala, debido a las largas variaciones de temperatura en las cargas tratadas. Además, los requerimientos para tratar fruta fresca en solución salina requieren una solución que únicamente se resuelve con ingeniería que todavía no ha sido desarrollada. El mango aparentemente tiene buena tolerancia al micro-hondas o al calentamiento con RF. De cualquier manera no se conoce si un mejoramiento en la calidad de la fruta sea garantía para destinar gastos extras a una labor de ingeniería que requiere esta aproximación de tratamiento en comparación con agua caliente o con aire caliente, pero hasta ahora se ve muy dudoso.

Sistemas integrales (Systems approach)

El nivel apropiado de protección por países importadores puede enfrentarse con la aplicación de medidas sencillas fitosanitarias, como es la inspección o los tratamientos cuarentenarios, o una combinación de medidas. El sistema integral (system approach) integra factores biológicos, físicos y operacionales para alcanzar los requerimientos cuarentenarios. La combinación de medidas fitosanitarias específicas coincide con protecciones redundantes claramente diferentes del uso de técnicas sencillas de riesgo. Estas combinaciones varían en complejidad dependiendo de lo que se requiera en la integración de dos o más medidas que actúen

independientemente de otros y de los efectos acumulativos para conseguir los niveles deseados de protección fitosanitaria (i.e., sistemas integrales o Systems approach).

La mitigación específica debe seleccionarse de un rango de opciones en pre cosecha y postcosecha, y quizá se incluyan otras medidas de seguridad. Las medidas podrían agregarse, fortalecerse o incrementarse para compensar la incertidumbre. Como mínimo, para una medida debe considerarse el uso de sistemas de aproximación, los cuales son: 1) claramente definidos; 2) eficaz; 3) oficialmente requerido (obligatorio); y 4) objeto de monitoreo y control por la organización nacional responsable de protección. Los sistemas de aproximación que reducen o mitigan los riesgos se han especificado claramente en recientes planes de trabajo para la importación de productos, como cítricos de Chile y aguacates de México. Los sistemas de aproximación que mitigan los riesgos involucrados con importaciones de mango de Centro y Sur América pueden combinar una variedad de medidas, incluyendo algunas de las siguientes:

- 1) Certificación de áreas libres de plagas, lugares de producción libres de plagas o áreas con bajos niveles de plagas.
- 2) Programas (mecánicos, químicos, culturales) para controlar las plagas dentro de los campos.
- 3) Permitir la vigilancia/observación de oficiales de USDA-APHIS.
- 4) Procedimientos en la empacadora (limpieza, cepillado e inspección de la fruta) para eliminar plagas externas.
- 5) Tratamientos cuarentenarios para desinfestar la fruta de plagas internas y externas.
- 6) Inspección de consignaciones y certificaciones fitosanitarias por oficiales del país importador y APHIS, PPQ para que estén libres de plagas.
- 7) Fruta rastreable de cualquier lugar de origen, establecimientos de empaque, productor y campo.
- 8) Consignaciones sujetas de muestreo e inspección después de arribar a Estados Unidos y;
- 9) Límites en la distribución y tránsito dentro de Estados Unidos.

Áreas libres de plagas

Como una medida única que mitigue los riesgos, está el establecimiento de áreas libres de plagas o lugares de producción libres de plaga, la cual puede ser completamente efectiva y satisfactoria por los países importadores y tener un nivel apropiado de protección fitosanitaria. Esta opción ya ha sido aprobada y es hasta ahora una práctica exitosa, obviando la necesidad de tratamientos en productos postcosecha que consiguen la seguridad de nivel probit-9. Establecimiento y mantenimiento de áreas de producción libres de plagas deben ser acompañados de estándares internacionales, pero los puntos específicos deben ser negociados entre los países exportadores e importadores.

Ejemplos de algunas estrategias empleadas en el desarrollando y manteniendo de zonas libres de plagas o áreas de baja prevalencia de plagas se describen más adelante. Las trampas se utilizan como un sondeo de áreas de poblaciones de plagas. En sondeos para moscas de la fruta, como es *Anastrepha ssp.*, para los cuales paraferomonas no están disponibles, la densidad mínima en las trampas en zonas de alto riesgo (algunas áreas tienen altas probabilidades de que se establezca la mosca o se introduzca) debe haber 5 trampas por km² (como en el caso de las trampas tipo McPhail) y a estas debe ponérseles cebo con proteína hidrolizada. Se requieren otras trampas para otras posibles plagas potenciales que generan preocupación en la ausencia de cualquier otro tratamiento de postcosecha.

Área de baja prevalencia de plagas

Áreas de baja prevalencia de plagas pueden comprender todo un país, parte de un país, o partes de varios países, en los cuales especies particulares de plagas se presentan con baja densidad de población y los cuales están sujetos a una efectiva vigilancia y medidas de control para su erradicación. Los procedimientos para el establecimiento y mantenimiento de áreas de baja prevalencia deben cumplir con los estándares internacionales. Por ejemplo, los elementos de un plan operacional para el

establecimiento y mantenimiento de tales áreas pueden incluir una descripción geográfica que delimite el área, delimitación del límite máximo de la densidad de las plagas, lo cual significa documentar y verificar todos los procedimientos y mantener los registros; especificación de procedimientos fitosanitarios (sondeo, control de plagas etc) y control de los movimientos para prevenir la entrada de plagas o que estas re-ingresen al área. Los estándares internacionales recomiendan al país exportador consultar al país importador para conocer sus requerimientos. En especial los que están a punto de ser declarados como áreas de baja densidad de población de prevalencia de plagas, deben consultar con el país importador respecto esto. Cualquier protocolo para establecer y mantener un área libre de plagas o área de baja prevalencia de plagas también debe ser incluido en el reporte de procedimientos y el plan de acción y emergencia, para dirigir la atención a la detección de plagas en las zonas libres de plagas o zonas de baja prevalencia de plagas.

Programa de control

Medidas culturales, químicas o mecánicas (higiene en el huerto, podar las partes muertos y enfermos del árbol, aplicación de pesticidas en precosecha, embolsado de frutas) podrían usarse para eliminar plagas de los huertos y prevenir la infestación de la fruta. La limpieza y la aplicación de pesticidas, como componente esencial de mejores prácticas de manejo, son los puntos clave para la producción comercial de frutas. Para las moscas de la fruta, en particular, liberar insectos esterilizados y otros controles pueden emplearse como medidas profilácticas o en respuesta a la detección de plagas, siguiendo los lineamientos de la USDA. Simples barreras físicas, como son las bolsas de plástico o de papel, pueden ser muy efectivas en la protección a la fruta de las plagas. Por ejemplo, el embolsado de frutas combinado con rociador de cebo con proteína reduce la infestación de la mosca de la fruta (*Batrocera* y *Dacus spp.*) por hasta 98% (Sar et al., 2001). En piña, guayaba, *feijoa sallowiana*, se logro un control muy efectivo de *Anastrepha fraterculus* con el embolsado cuando la fruta tiene un diámetro promedio de 22 mm (Hickel y Ducroquet, 1994).

Inspecciones de certificación fitosanitaria y monitoreo

La fruta debe ser muestreada e inspeccionada periódicamente durante el crecimiento periódicamente y también después de la cosecha. Los huertos deben ser sondearse por lo menos 2 veces al año, durante este tiempo el 10% del área de cada huerto debe ser inspeccionada. En este tiempo una muestra aleatoria de la fruta (algo de suelo), de un número específico de árboles (en los límites del huerto) por hectárea, deben tomarse, inspeccionarse y cortarse para detectar a 0.00003 de infestación (3 frutas infestadas por 100,000).

Resultados de los sondeos deben ser negativos para larvas de la mosca de la fruta. Las áreas de producción también pueden ser sujetas a inspecciones periódicas sin notificación, por oficiales certificados, para asegurar que reúnen los requerimientos estipulados en el certificado fitosanitario, el cual se requerirá en cada consignación. Los procedimientos estadísticos están disponibles para su verificación, en un cierto nivel de confidencialidad, los estatus de liberación de plagas en un área, deben ser negativos en los sondeos de las trampas.

Seguridad postcosecha y procedimiento en empacadoras

Los contenedores de fruta cosechada deben cubrirse con lonas u otro tipo cubierta y se pueden trasladar a la empacadora en un transporte a prueba de mosca en el tiempo adecuado (dentro de 3 horas de la cosecha). Al arribar a la empacadora, se debe tomar una muestra aleatoria por lote para inspeccionarse para plagas externas y cortarlos para que revele plagas internas, cada muestra debe ser de tamaño adecuado para detectar a 0.00003 de infestación. En la empacadora, la fruta debe cepillarse mecánicamente con algún tratamiento para remover plagas externas. La fruta debe sumergirse en agua para limpiar el contenido de la superficie y, quizá esterilizar la superficie con cloro (NaOCl). Los detergentes, como los utilizados para limpiar platos quizá tengan un alto nivel de actividad insecticida con un mínimo riesgo de fitotoxicidad. Toda la fruta debe ser inspeccionada antes de empacarse. Las consignaciones deben transportarse en vehículos sellados y refrigerados.

Primera zona libre de mosca en Texas

La primera área libre de mosca fue establecida en el Valle de Río Grande en Texas para la mosca mexicana de la fruta en 1981. El programa fue desarrollado e implementado por varios años y después de una investigación considerable que demostraba la validez y la confianza del sondeo de las trampas como medio para monitorear la mosca de la fruta, para validar el tipo de trampa usada, se cortaron de 10 a 20 mil frutas en un periodo de 2 años en las áreas con las trampas, soltaron mosca mexicana de la fruta esterilizada para evaluar su supresión (se suprimió el 75% de la población nativa) y se evaluó el rociador con cebo de Malathion para controlar la mosca mexicana de la fruta. La razón por la que se inicio este programa de zona libre se basaba en datos científicos e históricos mostrando números bajos de mosca mexicana en la zona productiva entre Julio a Abril y baja disponibilidad de hospedero de mosca de la fruta de Junio hasta Agosto. Además, el límite norte de distribución se pensó que fuera hasta el Valle del Río Grande. A pesar de todo, tomó varios años y mucha investigación para calmar las preocupaciones expresadas por otros productores de cítricos de otros Estados en EU acerca de la implementación de esta zona libre de mosca de la fruta.

Campaña mexicana para controlar la mosca de la fruta

En México, la campaña contra la mosca de la fruta se inició en 1992 bajo un plan nacional. El plan inicial contempla un marco de 12 años, pero aún se continúa trabajando en ello. Este plan consideró la supresión, disminución o erradicación en México de las cuatro especies que económica y cuarentenariamente son las más importantes especies de la mosca de la fruta (mosca Mexicana de la fruta, mosca de la fruta de Antillas, mosca de la fruta del sapote, mosca de la fruta de guayaba), en el sentido de desarrollar áreas libres o de baja prevalencia de estas plagas (Montoya et al., 2007). Para alcanzar este objetivo, el país se dividió en 3 regiones de trabajo, las cuales son definidas por sus características agroecológicas, el número de especies de moscas de la fruta presente en cada región, y el tamaño del las áreas productoras de fruta. Además, un establecimiento fue construido para producir 300 millones de moscas *Anastrepha* spp. y 50 millones de parásitos por semana (Reyes et al., 2000).

Tabla 5. Comparaciones de inversión/costo de tratamientos alternativos

Tratamiento alternativo	Inversión/ capacidad	Costo	Fuente
Tratamiento de Vapor Caliente, Aire Forzado caliente	2.4 y 4.7 toneladas métricas por 4 ho-ras tiempo máximo de tratamiento	EHK230MC (2.4 ton métricas) 50,000 yen Japonés (mas las instalaciones), EHK460MC (4.7 ton métricas) 100,000 Yen (mas las instalaciones)	Sanshu Sangyo Co., Ltd.
Atmósfera Controlada a altas temperaturas	2,000 lbs. en cajones por 3 horas como tiempo máximo de tratamiento	\$48,000	Techni-Systems, Chelan, WA
	2 sistemas de ta-rimas (2000 lbs) por 3 horas como tiempo máximo de tratamiento	\$50,000 a \$80,000	Techni-Systems, Chelan, WA
	De 1,500 a 11,000 toneladas métricas por año	\$2.50 a 16.50 por toneladas métricas	EcO2, Holanda
Irradiación	10,275 de libras por hora	\$0.15 a \$0.50 por lb. dependiendo de la fruta, dosis y dosimetría (rango de dosis permitida)	Una instalación de electrones en Hawaii
	25,700 libras de frutas por hora como capacidad	>\$0.025 por lb.	Sterigenics en la Cd de México

	máxima (dependiendo de la dosis)		utilizando Cobalto 60
--	----------------------------------	--	-----------------------

El plan técnico se basó en el uso de la aproximación de un área amplia. Estos son: 1) El uso de señuelos y cebo para detectar y monitorear poblaciones de mosca de la fruta; 2) El uso de prácticas culturales como controles mecánicos para destruir hospederos en árboles; 3) La aplicación de cebos tóxicos seleccionados a través de aplicaciones aéreas o terrestres; 4) El uso de técnicas de esterilización de insectos (SIT) contra *A. ludens* y *A. obliqua*; 5) El establecimiento de procedimientos cuarentenarios y 6) Soltar parásitos de la mosca de la fruta *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) en regiones específicas y en ciertos periodos.

Conclusiones

Son varias las alternativas potenciales a los protocolos de agua caliente para la desinfestación de especies de mosca de la fruta en mango. Algunas de estas alternativas se encuentran disponibles y son tratamientos aprobados (aire forzado caliente), y otros pronto serán aprobados con algunas limitaciones (irradiación). Otras opciones de tratamiento requerirán más tiempo y quizá investigación adicional para su desarrollo (Atmósfera controlada a altas temperaturas, sistemas integrales, radio frecuencia). Ninguna de las alternativas pueden ser usadas sin riesgo de dañar a la fruta, aunque el aire forzado caliente (con o sin atmosferas controladas) e irradiación tienen potencial por causar menos daños y cambiar las opciones de tratamiento pueden resultar en inversiones intensivas. Nuestras investigaciones indican gran potencial para mejorar el manejo de la fruta antes y después del tratamiento de agua caliente para mitigar los potenciales efectos dañinos de este tratamiento. La implementación de prácticas de hidroenfriamiento para toda la fruta tratada con agua caliente puede incrementar en gran medida la calidad de la fruta. Buen manejo de la temperatura de la fruta es muy importante aun a pesar del tratamiento cuarentenario utilizado.

Referencias

- Ahmed, E.M. and R.A. Dennison. 1971. Texture profile of irradiated mangoes and peaches. *Journal of Texture Studies* 2:489-496.
- Akamine, E.K. and T. Goo. 1979. Effects of ionizing energy on Haden mangoes. Hawaii Agriculture Experiment Station Research Report 205: 1.
- Armstrong, J.W. and R.L. Mangan. 2007. Commercial quarantine heat treatments. In: Tang et al, eds., *Heat Treatments for Postharvest Pest Control*, CABI, Oxon, UK.
- Armstrong, J.W., J.D. Hansen, B.K.S. Hu, and S.A. Brown. 1989. High-temperature forced-air quarantine treatment for papayas infested with tephritid fruit flies (Diptera: Tephritidae) *Journal of Economic Entomology* 82:1667-1674.
- Birla, S.L., S. Wang, J. Tang, J. Fellman, D. Mattinson, and S. Lurie. 2005. Quality of oranges as affected by potential radio frequency heat treatments against Mediterranean fruit flies. *Postharvest Biology and Technology* 38:66-79.
- Boag, T.S., G.I. Johnson, M.E. Izard, C. Murray, and K.C. Fitsimmon. 1990. Physiological responses of mangoes cv. Kensington Pride to gamma irradiation treatment as affected by fruit maturity and ripeness. *Annals of Applied Biology* 116:177-187.
- Brodrick, H.T. 1979. The influence of radiation on plant micro-organisms with reference to fruit and vegetables. *Proc. National Symposium of Food Irradiation*, South African Atomic Energy Board, Pretoria.
- De Leon, P., C. Munoz, L. Perez, F. Diaz de Leon, C. Kerbel, L. Perez Flores, S. Esparza, E. Bosquez, and M. Trinidad. 1997. Hot-water quarantine treatment and water-cooling of Haden mangoes. *Acta Horticulturae* 445.
- Dharkar, S.D. and A. Sreenivasan. 1972. Irradiation as a method for improved storage and transportation of mangoes. *Acta Hort.* 24:259.
- Dharkar, S.D., K.A. Savagaon, A.N. Srirangarajan, and A. Sreenivassan. 1966. Irradiation of mangoes. II. Radiation effects on skin-coated 'Alphonso' mangoes. *J. Food Science* 31:870.
- Esquerra, E.B. and M.C.C. Lizada. 1990. The Postharvest behaviour and quality of 'Carabao' mangoes subjected to vapour heat treatment. *ASEAN Food Journal* 5:6-12.

- Ezquerro, E.B., S.R. Bresna, M.U. Reyes, and M.C.C. Lizada. 1990. Physiological breakdown in vapour heat treated 'Carabao' mango. *Acta Hort.* 269:425-434.
- Follett, P. and R.L. Griffin. 2006. Irradiation as a phytosanitary treatment for fresh horticultural commodities: Research and regulations. In: Food Irradiation Research and Technology, Sommers, C.H. Sommers, and X. Fan, Eds., Blackwell Publishing, 2006. 317 pp.
- Follett, P.A., M. Yang, K.H. Lu, and T.W. Chen. 2007. Irradiation for Postharvest control of quarantine insects. *Formosan Entomol.* 27:1-15.
- Forsythe and Evangelou. 1993. Costs and benefits of irradiation and other selected quarantine treatments for fruit and vegetable imports to the United States of America. Issue Paper. Proceedings of an International Symposium on Cost-Benefit Aspects of Food Irradiation Processing.
- Gaxit, Y., Y. Rossler, S. Wang, J. Tang and S. Lurie. 2004. Thermal death kinetics of egg and third instar Mediterranean fruit fly *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology* 97:1540-1546.
- Hatton, T.T., L. Berahan, and W.R. Wright. 1961. Preliminary trials of radiation on mature green 'Irwin' and 'Sensation' mangoes. *Proc. 21st Annual Meeting Florida Mango Forum*, 15.
- Holdsworth, S.D. 1997. Thermal processing of packaged foods. Blackie Academic and Professional, London, UK.
- International Atomic Energy Agency, The Food and Agricultural Organization of the United Nations, and the World Health Organization. Aix-En-Provence, Vienna. March 1-5, 1993.
- Jacobi, K., J. Giles, E. MacRae, T. Wegrzyn. 1995. Conditioning 'Kensington' mango with hot air alleviates hot water disinfestation injuries. *HortScience* 30: 562-565.
- Jacobi, K.K and L.S. Wong. 1990. Quality of 'Kensington' mango (*Mangifera indica* Linn.) following hot water and vapour-heat treatments. *Postharvest Biology and Technology* 1:349-359.
- Jacobi, K.K., MacRae, E.A., Hetherington, S.E. (2001). Postharvest heat disinfestation treatments of mango fruit. *Scientia Horticulturae*. 89. 171-193.

- Johnson, G.I., T.S. Boag, A.W. Cooke, M. Izard, M. Panitz, and S. Sangchote. 1990. Interaction of post harvest disease control treatments and gamma irradiation of mangoes. *Ann. Applied Biology* 116:245-257.
- Kojima, E.S. and I.W. Buddenhagen. 1967. Studies on gamma irradiation in relation to Postharvest diseases of papayas and mango. Rep. 1966-1967, UH235-p5-3, p. 54. U.S. Atomic Energy Commission, Washington, D.C.
- Lacroix, M., L. Bernard, M. Joblin, S. Milot, and M. Gagnon. 1992. Effect of irradiation on the biochemical and organoleptical changes during the ripening of papaya and mango fruits. *Rad. Phys. Chem.* 35:296-300.
- Laidlaw, W. G., J.W. Armstrong, H.T. Chan, and E.B. Jang. 1996. The effect of temperature profile in heat-treatment disinfestation on mortality of pests and fruit quality. *Proceedings of the International Conference on Tropical Fruits: Global Commercialization of Tropical Fruits*, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 343-352.
- McLauchlan, R.L., Mitchell, G.E., Johnson, G.I. and Wills, P.A. 1990. Irradiation of Kensington mangoes. *Acta Horticulturae* 269:469-476.
- Mitcham, E.J., T. A. Martin, S. Zhou and A.A. Kader. 2003. Summary of CA for arthropod control on fresh horticultural perishables. *Acta Horticulturae*
- Montoya, P., J. Cancino, M. Zenil, G. Santiago and J. M. Gutierrez. 2007. The Augmentative Biological Control Component in the Mexican National Campaign Against *Anastrepha* spp. Fruit Flies. In: *Area-Wide Control of Insect Pests From Research to Field Implementation*, M. J. B. Vreysen, A. S. Robinson and J. Hendrichs, eds., Springer, Netherlands.
- Monzon, M.E., B. Biasi and E.J. Mitcham. 2007. Effect of radio frequency heating on the quality of 'Fuyu' persimmon fruit as a treatment for control of the Mexican fruit fly. *HortScience* 41:1-5
- Monzon, M.E., W. V. Biasi, T.L. Simpson, J. Johnson, X. Feng, D.C. Slaughter, and E.J. Mitcham. 2006. Effect of radio frequency heating as a potential quarantine treatment on the quality of 'Bing' sweet cherry fruit and mortality of codling moth larvae. *Postharvest Biol. Technol.* 40:197-203.
- Moreno, M., M.E. Castell-Perez, C. Gomes, P. F. Da Silva, and R.G. Moreira. 2006. Effects of electron beam irradiation on physical, textural, and microstructural

- properties of 'Tommy Atkins' mangoes (*Mangifera indica* L.). J. Food Sci. 71:80-86.
- Morrison. 1992. Food irradiation still faces hurdles. Food Review. October-December, pp. 11-15
- Neven, L.G. and E.J. Mitcham. 1996. CATTS (Controlled Atmosphere Temperature Treatment System): A novel tool for the development of quarantine treatments. Amer. Entomol. 42:56-59.
- Neven, L.G. and L. Rehfield-Ray. 2006. Combined heat and controlled atmosphere quarantine treatments for control of Western cherry fruit fly. J. Econ. Entomol. 99(3):658-663.
- Ortega-Zaleta, D. and Elhadi M. Yahia. 2000. Mortality of eggs and larvae of *Anastrepha obliqua* (MACQUART) and *A. ludens* (LOWE) (Diptera: Tephritidae) with controlled atmospheres at high temperature in mango (*Mangifera indica*) cv Manila. Folia Entomologica Mexicana (In Spanish) 109:43-53.
- OTA. 1985. Food Irradiation: New perspectives on a controversial technology. Rosanna Mentzer Morrison and Tanya Roberts, Office of Technology Assessment, Congress of the United States, Washington, DC, December 1985.
- Paull, R.E., Armstrong, J.W. (1994). Introduction. In: Paull, R.E., Armstrong, J.W. (Eds.), Insect Pests and Fresh Horticultural Products: Treatment and Responses. CAB International International, Wallingford, UK, pp.1-33.
- Reyes, L.F. and L. Cisneroa-Zevallos. 2007. Electron beam ionizing radiation stress effects on mango fruit (*Mangifera indica* L.) antioxidant constituents before and during postharvest storage. J. Agric. Food Chem. 55:6132-6139.
- Sharp, J.L., M.T. Ouye, S.J. Ingle, and W.G. Hart. 1989a. Hot-water quarantine treatment for mangoes from Mexico infested with Mexican fruit fly and West Indian fruit fly (Diptera: Tephritidae). J. Econ. Entomol. 82:1657-1662.
- Sharp, J.L., M.T. Ouye, S.J. Ingle, W.G. Hart, W. R. Enkerlin et al. 1989b. Hot-water quarantine treatment for mangoes from the State of Chiapas, Mexico, infested with Mediterranean fruit fly and *Anastrepha serpentina* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae).

- Shellie, K.C. and R. L. Mangan, 2000. Postharvest disinfestation treatments: response of fruit and fruit fly larvae to different heating media. *Postharvest Biology and Technology* 7:151-160.
- Shellie, K.C. and R.L. Mangan. 2002. Cooling method and fruit weight: Efficacy of hot water quarantine treatment for control of Mexican fruit fly in mango. *HortScience* 37:910-913.
- Shukla, R.P.; Tandon, P.L. (1985) Bio-ecology and management of the mango weevil, *Sternuchus mangiferae* (Fabricius) (Coleoptera: Curculionidae). *International Journal of Tropical Agriculture* 3, 293-303. Sing. 1990.
- Sivapalasingam, S., E. Barrett, A. Kimura, S. Van Duyne, W. De UIT, M. Ying et al., 2003. A multistate outbreak of *Salmonella enterica* Serotype Newport infection linked to mango consumption: Impact of water-dip disinfestation technology. *Clinical Infectious Diseases* 37:1585-1590.
- Spalding, D.H. and D.L. von Windeguth. 1988. Quality and decay of irradiated mangoes. *HortScience* 23:187-189.
- Spalding, D.H. and W.F. Reeder. 1986. Decay and acceptability of mangoes treated with combinations of hot water, imazalil and gamma radiation. *Plant Disease* 70:1149-1151.
- Spalding, D.H., J.R. King, and J.L. Sharp. 1988. Quality and decay of mangoes treated with hot water for quarantine control of fruit fly. *Trop. Sci.* 28:95-101.
- Stumbo, C.R. 1973. *Thermobacteriology in Food Processing*. Academic Press, Inc. New York.
- Suslow, T. 2004. Oxidation-reduction potential (ORP) for water disinfection monitoring, control and documentation. University of California, Agricultural and Natural Resources Publication #8149, <http://postharvest.ucdavis.edu>
- Tang, J., J.N. Ikediala, S. Wang, J.D. Hansen, and R.P. Cavalieri. 2000. High-temperature-short-time thermal quarantine methods. *Postharvest Biol. Technol.* 21:129-145.
- Thomas, A.C. 1977. Radiation preservation of sub-tropical fruits. *Food Irradiation Newsletter*. Joint FAO/IAEA Div. of Atomic Energy in Food & Agriculture. Int'l Atomic Energy Agency, Vienna. 1(2): 19.

- Thomas, P. and M.T. Janave. 1975. Effect of gamma irradiation and storage temperature on carotenoids and ascorbic acid of mangos ripening. J. Sci. Food. Agric. 26:1503-1512.
- Thorne. 1983. Developments in Food Preservation. Applied Science Publishers Ltd., S. Thorne, ed., Essex, England. Chapter 2.
- Torres-Rivera, Z. and G.J. Hallman. 2007. Low-dose irradiation phytosanitary treatment against Mediterranean fruit fly (Diptera:Tephritidae). Florida Entomologist 90(2):343-346.
- Varith, J. and T. Kiatsirirot. 2004. Effects of microwave power, treatment time and sample orientation on heat distribution in mango. ASAE Paper No. 04-6104. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Varith, J., W. Sirikajornjaru, and R. Kiatsirirot. 2006. Quarantine treatment on mango using microwave-vapor combined process. Proceedings of the American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting, Portland, Oregon, 9–12, July, 2006.
- Wang, S., S.L. Birla, J. Tang and J.D. Hansen. 2006. Postharvest treatment to control codling moth in apples using water-assisted radio frequency heating. Postharvest Biology and Technology 40:89-96.
- WHO (World Health Organization). 1981. Wholesomeness of irradiated food: Technical Report Series No. 659. WHO Geneva.
- WHO (World Health Organization). 1994. Agreement on the application of sanitary and phytosanitary measures. GATT Uruguay Round Agreements. World Trade Organization, Geneva.
- Yahia Elhadi M. (Editor). 2009. Modified and controlled atmospheres for transportation, storage and packaging of horticultural commodities. Recent advances. CRC Press (Taylor & Francis). In press.
- Yahia, E.M. 2006. Effects of quarantine treatments on quality of fruits and vegetables. Stewart Postharvest Reviews 1(6):1-18.
- Yahia, E.M. and D. Ortega. 2000. Mortality of eggs and third instar larvae of *Anastrepha ludens* and *A. obliqua* with insecticidal controlled atmospheres at high temperatures. Postharvest Biology and Technology 20:295-302.

Yahia, E.M. and J.P. Campos. 2000. The effect of hot water treatment used for insect control on the ripening and quality of mango fruit. *Acta Horticulturae* 509:495-501.