

APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS A FRUTOS DE AGUACATE PARA PROLONGAR SU VIDA DE ANAQUEL

APPLICATION OF THERMAL TREATMENTS IN AVOCADO FRUITS TO INCREASE SHELF LIFE

López-Mata MA¹, Ruiz-Cruz S^{1*}, Ornelas-Paz JJ² y Gassos-Ortega LE¹

¹Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias, Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 Sur, CP 85000, Cd. Obregón, Sonora, México. | ²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Av. Ríos Conchos S/N, Parque Industrial Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

RESUMEN

Esta revisión resume los avances que han tenido los tratamientos térmicos (TT) utilizados para prolongar la vida útil del aguacate. Las tecnologías que se han venido utilizando a través del tiempo se pueden dividir en aire caliente (AC), vapor caliente (VC), agua caliente (AGC), exposición a luz solar (LS) y radiofrecuencia (RF). Los estudios muestran inconsistencia en sus resultados, debido a que la respuesta fisiológica del fruto de aguacate depende de la variedad, estación del año, lugar de recolección, prácticas de producción y falta de uniformidad en el calentamiento, la exposición o no al sol. Los TT que presentan mejores resultados en mantener la firmeza, retrasar la producción de etileno, disminución de la fuga de electrolitos y menor DF, han sido la LS, AGC y la combinación entre ellos. La exposición a LS induce estrés térmico diurno que aumenta la expresión de las proteínas del choque térmico (HSP17 y HSP70) que pre-condiciona al aguacate a resistir la aplicación de AGC a 50 °C y el posterior almacenamiento a 0,5 °C por 28 días.

Palabras claves: Aguacate, aire caliente, vapor caliente, agua caliente, luz solar, tratamientos térmicos.

ABSTRACT

This review summarizes the development of the thermal treatments (TT) utilized to increase shelf life of avocado. The technology which have been used over time are hot air (HA), vapor heat (VH), hot water (HW), sunlight (SL) and radiofrequency (RF). The studies show that result are inconsistent because physiology response of avocado is determined by factors such as variety, year season, growing location, fruit maturity, sunlight expose or not, and slow uniformity in the heat distribution. The better results of TT on firmness, delay ethylene production, lower electrolyte leakage and lower DF, were SL, HW and combinations among themselves. Exposure to SL induce diurnal thermal stress, increasing the expression of heat shock protein (HSP17 y HSP70) and avocado is conditioned to resist the application of HW at 50 °C and subsequent storage at 0.5 °C by 28 days.

Keywords: Avocado, hot air, vapor heat, hot water, sunlight, thermal treatments.

INTRODUCCIÓN

El bromuro de metilo es el desinfectante más efectivo para la eliminación de insectos en frutas y hortalizas en los sistemas cuarentenarios; sin embargo, su aplicación provoca serios daños en el fruto y al medio ambiente. A raíz de la inminente salida del mercado del bromuro de metilo, los tratamientos térmicos (TT) surgieron como posibles alternativas no químicas de desinfección contra insectos de la fruta. Aunque el objetivo inicial fue reducir la población de insectos en las frutas y hortalizas, por accidente se observó que los tratamientos térmicos post-cosecha podían conferir protección al aguacate y otros vegetales durante su almacenamiento en frío y su posterior maduración a temperatura ambiente.

Algunos de los TT que se han aplicado al aguacate son: aire caliente, vapor caliente, agua caliente, exposición a luz solar y radiofrecuencia; a pesar de que cada uno tiene su característica particular, se ha observado que otros factores, como la variedad, el grado de maduración del fruto y la estación del año en que se realiza la cosecha, pueden limitar la eficacia de los TT (Kritzinger y Kruger, 1997). Por ello, es importante analizar en la literatura como han venido evolucionando los TT aplicados en aguacate y los efectos de su aplicación en la prolongación de su vida útil.

Maduración del Aguacate en Post-cosecha

El aguacate es un fruto climatérico que puede ser cortado y seguir su proceso de maduración. La madurez fisiológica es el estado de desarrollo en el que el fruto puede continuar con su ontogenia una vez separada de la planta. La madurez comercial es el estado de desarrollo donde el fruto posee las características sensoriales adecuadas para su consumo. En cambio la maduración se refiere a la composición de los procesos que ocurren en el último estado de crecimiento y desarrollo, a través del inicio del estado de la senescencia y que resulta en cambios en composición, color, textura u otros atributos sensoriales, químicos o físicos (Kader, 1997). Se sabe que el etileno tiene un papel importante en su maduración y controla los cambios durante el crecimiento hasta su senescencia.

Durante la etapa pre-climatérica del aguacate, la cantidad de etileno suele ser muy baja, probablemente se debe a la inhibición en la conversión de la S-adenosilmetionina (SAM) a 1-aminociclopropeno (ACC) y la conversión de ACC a etileno (Yang y Hoffman, 1984). En cambio, antes del pico climatérico la actividad de la enzima ACC sintetasa y los niveles de ACC se incrementan marcadamente, lo que aumenta la producción de etileno (Sitrit *et al.*, 1986). Durante la etapa post-cosecha existen una serie de desórdenes bioquímicos y fisiológicos, que pueden presentarse como lesiones externas e internas y que son ocasionadas por el frío, sin embargo, se ha observado que estas lesiones pueden ocurrir independientemente del frío. Estas lesiones son conocidas como daños por frío (DF), los cuales se caracterizan por el oscurecimiento y picadura de la piel, que pueden avanzar a las células de la capa interna de la piel y la pulpa (Woolf, 1997). El oscurecimiento por DF se le atribuye a la polifenol oxidasa (PPO; EC: 1.10.3.2) y a los compuestos fenólicos (CF) solubles localizados en las vacuolas (Moskovitz y Hradzina, 1981).

El enfriamiento al que se somete el fruto de aguacate (< 6 °C) puede ocasionar daños en la membrana celular y provocar fuga de electrolitos que, repercuten en un desbalance iónico. Lo anterior, induce cambios en la permeabilidad de la membrana que, provoca la liberación de sustratos celulares (SC) y enzimas (PPO), ocasionando el oscurecimiento del aguacate (Bower y cutting, 1998). La reacción del oscurecimiento es catalizada por la oxidación de o-difenoles a quinonas, con la pérdida de hidrógenos. Estas quinonas son irreversiblemente oxidadas a pigmentos de melanina que dan la apariencia oscura al fruto de aguacate (Bower y cutting, 1998). Aunque es cierto que el etileno desencadena los DF, esto sólo es parte de la respuesta, ya que actualmente se sabe que es una sumatoria del crecimiento del embrión y la producción de etileno (Hershkovitz *et al.*, 2009).

Inducción de Termotolerancia en Aguacate Mediante TT

La gran mayoría de los organismos responden ante el estímulo de temperaturas elevadas, con la síntesis de proteínas de choque térmico (PST) que, ayudan a inducir termotolerancia (Vierling, 1991). El aguacate también posee genes responsables de la síntesis de la PST; cuando la temperatura se eleva en los frutos, el RNAm de los genes de la maduración desaparece y aumenta la concentración de RNAm para la síntesis de las PST (Lurie, 1998). Woolf y Lay-Yee. (1997) reportan que temperatura de 38 °C puede inducir la producción de genes de las PST (HSP17 y HSP70) en la piel del aguacate e incrementar la termotolerancia, e incluso este puede servir como un pre-tratamiento para aumentar la termotolerancia a temperaturas de hasta 50 °C. Al parecer la termotolerancia es una respuesta de protección orgánica como una manera de adaptación a temperaturas elevadas. Sin embargo, se ha observado que temperaturas superiores a 42 °C pueden atenuar la síntesis de PST, dejando desprotegido al fruto y predispuesto a los daños por calor.

Aunque se conocen algunos aspectos de la termotolerancia, el mecanismo completo todavía no es dilucidado (Ferguson *et al.*, 1994).

La aplicación de calor a frutos (37 a 38 °C) por algunos días (2 a 4 días) y posteriormente almacenados a temperaturas frías (0 a 2 °C), se observa que pueden reducir la fuga de electrolitos y disminuir los DF. Esto es atribuido a un acondicionamiento térmico, inducido por cambios en la composición de lípidos de la membrana, produciendo un aumento en los fosolípidos y de ácidos grasos insaturados, haciendo más fluida la membrana celular (Lurie, 1998).

Tratamientos Térmicos (TT) en Aguacate

Para eliminar la plaga de algunas moscas de la fruta en aguacates infectados, las autoridades de cuarentena de Estados Unidos han venido utilizado diversos tratamientos, como la fumigación y TT bajo un sistema estricto (inspección y seguridad) para el manejo de la mosca de la fruta (Diptera: Tephritidae) (Aluja *et al.*, 2004). La fumigación con bromuro de metilo y bromuro de etileno ha sido el tratamiento más utilizado y efectivo contra plagas de la fruta, sin embargo, se ha visto que la fumigación con estos productos presenta efectos perjudiciales en la calidad del fruto (Ito y Hamilton, 1980), además, su uso ha sido limitado por cuestiones de salud, por lo que se ha prohibido su aplicación en frutos (Bello, 1997).

La aplicación de compuestos químicos baratos y efectivos contra la mosca de la fruta remplazaron por un tiempo a los TT y por unos años los estudios sobre la aplicación de TT se aminoraron. Sin embargo, en estudios posteriores donde se aplicaron TT a tomates (Lurie y Klein, 1991) y mangos (McCollum *et al.*, 1993), con la intención de reducir los síntomas de DF durante el almacenamiento en refrigeración, fueron pieza clave para aumentar el interés de su uso en aguacate con la finalidad de disminuir el DF, eliminación de plagas y prolongar su vida de anaquel. Algunos de los TT que se han utilizado para la desinfección y conservación de la calidad de aguacate se basan en la aplicación de aire caliente (AC), vapor caliente (VC), agua caliente (AGC), la exposición a la luz solar (LS) y radiofrecuencia (RF).

Aire Caliente (AC)

Los tratamientos de AC se realizan en cámaras de aire forzado, en donde se puede aplicar aire caliente seco ó húmedo, dependiendo de la humedad relativa (HR). Kerbel *et al.* (1987), basados en el antecedente de que algunos cultivares de aguacate ('Fuerte' y 'Dickeson') no podían tolerar atmósferas saturadas de vapor de 43 °C por 16 horas, se enfocaron a estudiar el efecto de AC seco a 43 °C y posterior enfriamiento rápido a 7 °C por 14 días, seguido de un mercadeo simulado a 20 °C en aguacate 'Fuerte'. Los autores reportan que los aguacates tratados no presentaron ablandamiento y maduración normal, pero mostraron oscurecimiento severo sobre la superficie del fruto. También señalan pérdida de peso entre 6,0 a 6,5 % y aumento en la

susceptibilidad microbiana, la producción de etileno, daños por vibración y cambios en el sabor. Sanxter *et al.* (1994) aplicaron tratamientos de AC húmedo (38 °C, HR 5 % por 17 a 18 h) en aguacate 'Sharwil'. Ellos reportan que los DF se reducen cuando el aguacate es colocado tanto en cajas de cartón como en bolsas de polietileno perforadas durante 18 h y posterior a un enfriamiento con aire a 20 °C por 4 h, antes de su almacenamiento a 1,1 °C por más de 14 días. Por otro lado, Nishijima *et al.* (1995), reportan que la reducción en el periodo del tratamiento del choque térmico con AC a 38 °C por 8 a 12 h (originalmente de 18 h a 38 °C) en aguacate 'Sharwil' antes de la aplicación de tratamiento frío (<2,2°C), reduce significativamente los DF en la pulpa durante 16 días de almacenamiento. Los dos estudios antes mencionados se limitaron sólo en la apariencia externa e interna y no evaluaron aspectos importantes, como los cambios de color, pérdidas de peso, respiración, producción de CO₂ y etileno.

Woolf *et al.* (1995) evaluaron el efecto en la reducción del DF de la aplicación de AC seco (25 ° a 46 °C por 0,5 a 24 h), seguido de un almacenamiento (0 °C, 2 °C o 6°C) y posteriormente madurados a 20 °C. Ellos reportaron que los tratamientos más efectivos para mantener la calidad interna del aguacate 'Hass' son a 40 °C por 0,5 h ó 38 °C por 3 a 10 h, seguido del almacenamiento a 6 °C. Además, en muestras de tejidos de la pulpa encontraron niveles elevados de dos genes que se expresan para la síntesis de la PST (HSP17 y HSP70), alcanzando su máximo a 40 °C y una disminución a temperaturas bajas. También encontraron que los aguacates tratados con AC no presentan pérdida significativa de peso durante su almacenamiento a 2 °C y aumento del pico climático (producción de etileno) se retrasó 3 días en los aguacates tratados a temperaturas de 44 °C y 46 °C por 6 h. Esto explicaba en parte la protección que confería la aplicación de TT mediante la expresión de PST y la protección que le confieren al fruto contra las temperaturas bajas. Asimismo, Woolf *et al.* (1996) evaluaron el efecto de la inmersión en agua caliente a 38 °C por 60 min y la exposición de aire a 20 °C por 60 min, una vez aplicado los dos tratamientos el aguacate 'Hass' fue almacenado a 0 °C por 4 semanas, reportando que los aguacates tratados con agua caliente no presentaron daños externos en la fruta (color verde) y los tratados con aire a 20 °C presentaron oscurecimiento característico del DF.

Los estudios anteriores concluyeron que los TT confieren termotolerancia al fruto de aguacate, previo a su almacenamiento en frío. Aunque se conoce que las PST están involucradas, también es cierto que el tejido de la planta tiene un amplio rango de efectos bioquímicos y fisiológicos, ocasionados por transferencia de calor que puede ocasionar daños e inducir pérdida de color externo, peso y otros atributos de la calidad, dependiendo si el tratamiento que se aplica es AGC, AC húmedo o seco (Ornelas y Yahia, 2004). Como se ha comentado, el retraso en la producción de etileno al aplicar TT, nos indica que el fenómeno no es irreversible, ya que las temperaturas utilizada nos es suficiente para la desnaturalización de proteínas (Eaks, 1978). Se ha sugerido que los TT probablemente sólo inducen una reducción de

la producción y actividad de enzimas formadoras de etileno (Fallik, 2004).

Vapor Caliente (VC)

Los tratamientos de VC consisten en aplicar aire saturado con vapor de agua (40-50 °C) y su finalidad original era transferir energía térmica al fruto en cuarentena para eliminar huevos y larvas de insectos (Lurie, 1998). Este tratamiento es uno de los más antiguos y la primera vez que se utilizó fue en México en 1913 contra la mosca de la fruta mexicana y posteriormente en Florida para el control de la mosca de la fruta del Mediterráneo (Latta, 1932), por un tiempo se abandonó su aplicación en los sistemas cuarentenarios por la aplicación de fumigantes químicos más baratos (dañinos para la salud y frutos). En los años 90's se incorporó de nuevo su uso (Gaffney *et al.*, 1990), debido a que podían obtenerse beneficios de desinfección, reducción en la tasa de maduración de frutas climatéricas, tolerancia al DF, reducción de enfermedades post-cosecha y termotolerancia (Klein y Lurie, 1991).

Donkin y Wolstenholme (1995) evaluaron el uso de VC y baños de AGC en la reducción del DF en aguacate 'Fuerte'. Los autores reportan que el fruto tratado con VC (> 90 % de HR) por 1,5 y 3 h a 40 °C presenta menor oscurecimiento externo y de pulpa, en comparación con aguacates tratados con calor seco y agua caliente. Por otro lado, Weller *et al.* (1998) estudiaron el efecto de varios tratamientos de VC (36, 38, 40 y 42 °C por 1, 2, 4 y 8 h) en variedades de aguacate 'Hass' y 'Fuerte', en diferentes estaciones. Ellos reportan que el mejor tratamientos para prolongar la vida de anaquel del aguacate 'Hass' fue a 38 °C y 40 °C por 8 h. Mientras que para 'Fuerte' es a 36 °C por 8 h o bien a 42 °C en un rango de 4-8 h. Esto indicaba que la aplicación de VC no sólo dependía de la razón temperatura/tiempo, sino también de la variedad y la estación del año en que se colectaba el aguacate.

Agua Caliente (AGC)

Otra alternativa de TT que se ha utilizado es la aplicación de AGC, fundamentado en el principio de que el agua tiene mayor disponibilidad que la aplicación de AC o VC. Woolf, (1997) en su estudio, sometió a aguacate 'Hass' a tratamiento con AGC (38 °C por 0 a 120 min), almacenado a 0,5 °C por más de 28 días y posteriormente madurado a 20 °C. El autor reporta que 60 min de tratamiento con AGC confiere al fruto protección contra las bajas temperaturas, muy similar a la aplicada con AC. También señala que los aguacates no tratados presentan menor integridad de las membranas celulares de hasta 6 veces más que los aguacates tratados.

La aplicación de TT a una temperatura relativamente baja (38 °C) pudiera ser una alternativa como pre-tratamiento o pre-acondicionamiento del aguacate, basados principalmente en estudios previos realizados en otros frutos, como papaya (Paull y Chen, 1990) y mango (Joyce y Shorter, 1994). Woolf y Lay-Yee (1997), fueron los primeros en aplicar pre-tratamiento con AGC (38 °C por 60 min) en aguacate,

antes del tratamiento a temperaturas más elevadas (50 °C por 10 min) y su posterior almacenamiento por una semana (6 °C) y madurado a 20 °C. Estos autores indican que el pre-tratamiento induce una tendencia a reducir daños externos, dureza de la cáscara y desórdenes internos. Además, los frutos de aguacate que reciben el pre-tratamiento aumentan la expresión de genes de HSP17 y HSP70 en el tejido de la piel del aguacate, lo cual le confiere mayor tolerancia al aumentar la temperatura del agua.

Por otro lado, Kritzinger *et al.* (1998) en su estudio aplicaron diversos tratamientos (sin pre-tratamientos) de AGC y AC sobre diversas variedades de aguacate, ellos reportan que, temperaturas de 40 y 42 °C por 24 min con AGC y 40 °C por 6 h con AC confieren una protección contra el DF (5-3 °C), pero esta protección se pierde conforme disminuye el tiempo de aplicación del tratamiento térmico y la temperatura de almacenamiento (2 °C), que se reflejó en el aumento de la incidencia en decoloración externa y oscurecimiento de la pulpa. Aunque estos resultados son inconsistentes con respecto a la variedad del fruto, ya que mientras 'Hass' no demostró sensibilidad, 'Fuerte' y 'Edranol' sí son sensibles, mientras que para 'Ryan' es innecesaria su aplicación. Estudios previos han demostrado que la variedad 'Ryan' presenta una mayor resistencia al frío (es menos sensible al frío a temperaturas entre 3,5 a 5,5 °C, aunque puede variar dependiendo del contenido de aceite del fruto y de las madurez de la fruta) y puede estar asociada al contenido de aceite > 20 % (Vorster *et al.*, 1987). La desventaja de los tratamientos aplicados en el estudio anterior, es que los periodos de tratamiento son bastante largos, por ello, Grové *et al.* (1999) en su investigación decidieron utilizar tiempos más cortos de tratamientos con AGC (46 °C por 5 min) en aguacate 'Hass'; observaron una excelente resistencia contra el DF (6,5 °C por 28 días). Asimismo, Hofman *et al.* (2002) indicaron que los tratamientos de AGC a 41 °C (25-30 min) y 42 °C (25 min) pueden mejorar la aceptabilidad externa (menos del 5 % de área de la piel con defecto) e interna (pulpa con menos del 5 % de podredumbre) del fruto de aguacate 'Hass' seguida de un almacenamiento en frío por 16 días a 1 °C y maduración a 20 °C por 3 días.

Con la finalidad de comparar el efecto de diversos tratamientos para prolongar la vida de anaquel del aguacate 'Catalina', Cáceres *et al.* (2003) utilizaron tiabendazol (500 ppm), cera poletilénica (10 % de sólidos totales) y AGC (50 °C por 2 min), en sus resultados señalan que la aplicación de tiabendazol y AGC solos y combinados reducen los efectos de la pudrición. No obstante, los frutos de aguacates tratados con AGC presentaron mayor pérdida de peso (≈10 %), menor firmeza y cambios en el color externo (a tonalidades amarillas).

Como podemos observar, los TT aplicados en aguacate inician casi siempre con aplicación de un tratamiento caliente. Sin embargo, Hofman *et al.* (2003) plantearon un tratamiento para aguacate 'Hass' que, iniciaba con un acondicionamiento a temperaturas bajas (4-8 °C por 3-4 días) combinado con tratamiento de AGC (41-42 °C por 15-25

min) seguido por un almacenamiento a 1 °C por 16 días y posteriormente madurado a 16 °C. Los autores indican que esta combinación de tratamientos es menos efectiva que el acondicionamiento a temperaturas calientes. Por su parte, Plumbley *et al.* (1993) evidencian las desventajas de la aplicación de tratamientos de AGC, ya que éstos pueden provocar la caída en la concentración del compuesto antifúngico natural 1-acetoxi-2-hidroxi-4-oxo-heneicosano-12,15-dieno presente en la cáscara, el cual, el aguacate utiliza como sistema de defensa en contra de *Colletotrichum gloeosporioides*, agente etiológico de la antracnosis.

También se ha observado que el tratamiento con AGC a 50 °C por 10 min aplicado en frutos de aguacate 'Hass' disminuye el contenido de acidez total, vitamina C, fenoles totales, pero sin un aumento significativo en el contenido de aceite (Abu-Aziz *et al.*, 2009). A pesar de que los resultados son inconsistentes en los beneficios y perjuicios que el tratamiento con AGC produce en el fruto de aguacate, el sistema cuarentenario de Estados Unidos de Norteamérica acepta la utilización del tratamientos de AGC a 46,1 °C por un periodo de tiempo específico (dependiendo de la plaga, tipo de fruta y tamaño) en frutas tropicales para el control de la mosca de la fruta, debido a su fácil utilización comercial y auxiliado por un proceso de certificación detallado (USDA-APHIS, 2009).

Luz Solar (LS)

La incertidumbre del porque los frutos de aguacates cosechados en diferentes estaciones presentaban gran variabilidad en la respuesta post-cosecha a los TT, abrió la ventana de que este hecho podría estar relacionado con la cantidad de radiación solar que recibe el fruto de aguacate durante su desarrollo en la planta (Woolf *et al.*, 1999a). La fruta en la planta se encuentra expuesta a las fluctuaciones de temperatura, dependiendo de la estación del año, incluso se ha observado que la temperatura del aire no mayor a 30 °C, en frutos como la uva y melón, la temperatura interna del fruto puede exceder los 40 °C.

Debido a lo anterior, Woolf *et al.* (1999b) en su trabajo de investigación expusieron frutos de aguacate 'Hass' al sol (dividiéndolos a su vez en lado expuesto y no expuesto) y frutos a la sombra del follaje del árbol; posteriormente fueron tratados con AGC a 50 °C y por último almacenados a 0,5 °C por 28 días. Los autores hallaron diferencias entre aguacates expuestos al sol y no expuestos. Los frutos expuestos al sol presentaron termotolerancia a tratamiento con AGC y presentaron menor daño en la región externa, mientras que los frutos expuestos a la sombra sufrieron notorio DF y fuga de electrolitos de hasta el 60 %. También reportan que existe sobreexpresión del RNAm de la PST y proteínas específicas a temperaturas mayores a 30 °C. Por otro lado, Woolf *et al.* (2000) reportan que existe mejor firmeza, retraso en la producción de etileno (2 a 5 d) y en la aparición de lesiones por *Colletotrichum gloeosporioides* en diversas variedades de aguacate expuestos a la LS. Los beneficios de la exposición al sol podrían centrarse en el estrés que los frutos tienen durante las temperaturas diurnas y la acumulación de las PST que,

son indicadores de la respuesta a dicho estrés.

Hasta este punto se puede comentar que la variabilidad en los resultados obtenidos por la aplicación de los diversos tratamientos térmicos convencionales aplicados a frutos de aguacate y su posterior almacenamiento en frío, también es afectada por la exposición o no a la LS. Sería importante establecer nuevos mecanismos pre-cosecha que amplíen la exposición a la luz solar para disminuir la respuesta bioquímica y fisiológica durante la etapa de post-cosecha, para aumentar su tolerancia a bajas temperaturas y evaluar el impacto económico que representa la exposición del aguacate a la LS y de esta manera reducir el DF durante el almacenamiento. Es necesario realizar más investigaciones que ayuden a definir la influencia de la exposición inmediata de frutos de aguacate al sol a temperaturas elevadas después de la cosecha, así como, el tiempo necesario de exposición para una mejor tolerancia al frío durante su almacenamiento y los efectos en los atributos de la calidad del fruto de aguacate. De igual forma, es necesaria la evaluación química de los principales componentes nutricionales de frutos de aguacate expuesto a la LS y los no expuestos.

Radiofrecuencia (RF)

Tradicionalmente, RF se define como la radiación electromagnética no ionizada con diferentes rangos de megahertz (MHz). Aunque su principal aplicación desde su descubrimiento se ha enfocado en las telecomunicaciones, ya que tienen la capacidad de penetrar y calentar diversos materiales. Este calentamiento se produce al aplicar electricidad a un generador de RF, cuya señal es amplificada y entregada a un sistema de electrodos paralelos (cavidad de RF), en donde se puede colocar un determinado material. Entre la cavidad de RF se crea un campo eléctrico oscilatorio y la energía puede ser transferida al material a través de la interacción del campo electrónico, forzando a las moléculas dipolares a reorientarse entre los cambios del campo electrónico. Esto provoca un movimiento entre las moléculas que causa una fricción interna y crea energía térmica (calor) este proceso es conocido como calentamiento por RF (Lagunas-Solar *et al.*, 2006).

Las frecuencias que se han asignado como seguras para el área industrial, científica y médica, van del rango de 13,56 a 40,68 MHz (Wang y Tang, 2004). Es importante mencionar que el uso de la RF se inició como un TT rápido para el control de insectos plaga. Pero se ha observado que la prolongación en el tiempo del TT puede dañar la calidad del fruto, ocasionando oscurecimiento, picaduras y pérdida de firmeza (Lurie, 1998). A pesar de que las RF inducen un calentamiento rápido en frutos, presentaba la desventaja de tener baja uniformidad en el calentamiento, al igual que los TT tradicionales (AC, VC y AGC) (Nelson, 1996). Este problema de uniformidad en el calentamiento fue resuelto por Birla *et al.* (2004), quienes aplicaron movimiento rotacional al fruto en un medio acuoso, mantenidos en constante movimiento y rotación durante el calentamiento con RF, lo cual presenta diferencias significativas en la uniformidad del calentamiento

al compararlo con AC y AGC. Posteriormente, estos mismos autores caracterizaron las propiedades dieléctricas del aguacate y diversos frutos influenciados por calentamiento con RF (27,12 MHz). Ellos reportan que las propiedades dieléctricas del agua contenida en la cáscara, hueso y pulpa de aguacate presentan diferencias en la razón de calentamiento con RF (Birla *et al.*, 2008). Sin embargo, aún no se ha evaluado su efecto en los cambios de calidad post-cosecha del aguacate. Asimismo, tampoco se ha calculado el costo en energía eléctrica que es necesaria para el tratamiento de calor por RF en grandes volúmenes.

CONCLUSIONES

La exposición a LS, AGC y la combinación entre ellos, fueron los mejores tratamientos para reducir el DF y prolongar así los atributos de calidad del aguacate. La principal desventaja de estos tratamientos radica en la falta de uniformidad en el calentamiento y aunque la RF ha sido implementada como nueva tecnología para mejorar la distribución del calor, ésta aún se encuentra en etapa experimental y suele requerir de un mayor costo de operación. Es importante seguir refinando la metodología de los TT aplicados en la desinfección y conservación de frutos de aguacate, además de un mejor entendimiento de sus efectos sobre los cambios fisiológicos y bioquímicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abu-Aziz, A. E. M. B., Ahmed, F. M., Ahmed, D. M., Yousef, A. R., Dokki, E. T. y El-Gamaa, G. 2009. Utilization of hot water treatments for reducing external damage and maintain quality of Hass avocado fruits. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 5: 1046-1053.
- Aluja, M., Díaz-Fleischer, F. y Arredondo, J. 2004. Nonhost status of commercial *Persea americana* 'Hass' to *Anastrepha ludens*, *Anastrepha obliqua*, *Anastrepha serpentina*, and *Anastrepha striata* (Diptera: Tephritidae) in Mexico. *Journal of economic entomology*. 97: 293-309.
- Bello, A. 1997. La retirada del bromuro de metilo como fumigante. *Vida Rural*. 4: 70-72.
- Birla, S., Wang, S., Tang, J. y Hallman, G. 2004. Improving heating uniformity of fresh fruit in radio frequency treatments for pest control. *Postharvest Biology and Technology*. 33: 205-217.
- Birla, S., Wang, S., Tang, J. y Tiwari, G. 2008. Characterization of radio frequency heating of fresh fruits influenced by dielectric properties. *Journal of Food Engineering*. 89: 390-398.
- Cáceres, I., Mulkay, T., Rodríguez, J., Paumier, A. y Sisino, A. 2003. Tratamientos postcosecha para alargar la vida de anaquel del aguacate. *Normas de Publicación*: 20.
- Donkin, D. y Wolstenholme, B. 1995. Post-harvest heat treatments with a view to reducing chilling injury in Fuerte avocado fruit. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*. 18: 80-84.
- Eaks, I. L. 1978. Ripening, respiration, and ethylene production of 'Hass' avocado fruits at 20 to 40 C. *Journal of American Society for Horticulture Science*. 103: 576-578.
- Fallik, E. 2004. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). *Postharvest Biology and Technology*. 32: 125-134.

- Ferguson, I. B., Lurie, S. y Bowen, J. H. 1994. Protein synthesis and breakdown during heat shock of cultured pear (*Pyrus communis* L.) cells. *Plant physiology*. 104: 1429-1437.
- Gaffney, J., Hallman, G. y Sharp, J. 1990. Vapor heat research unit for insect quarantine treatments. *Journal of economic entomology*. 83: 1965-1971.
- Grové, T., De Beer, M. y Steyn, W. 1999. The effect of heat shock treatments followed by a quarantine cold treatment on avocado fruit quality. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*. 22: 102-105.
- Hershkovitz, V., Friedman, H., Goldschmidt, E. E. y Pesis, E. 2009. The role of the embryo and ethylene in avocado fruit mesocarp discoloration. *Journal of experimental botany*. 60: 791-799.
- Hofman, P. J., Stubbings, B. A., Adkins, M. F., Corcoran, R. J., White, A. y Woolf, A. B. 2003. Low temperature conditioning before cold disinfestation improves 'Hass' avocado fruit quality. *Postharvest Biology and Technology*. 28: 123-133.
- Hofman, P. J., Stubbings, B. A., Adkins, M. F., Meiburg, G. F. y Woolf, A. B. 2002. Hot water treatments improve 'Hass' avocado fruit quality after cold disinfestation. *Postharvest Biology and Technology*. 24: 183-192.
- Ito, P. J. y Hamilton, R. A. 1980. Fumigation of avocado fruit with methyl bromide. *HortScience*. 15: 593.
- Joyce, D. C. y Shorter, A. J. 1994. High-temperature conditioning reduces hot water treatment injury of Kensington pride mango fruit. *HortScience*. 29: 1047-1051.
- Kader, A. A. 1997. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *International Symposium. Effect of pre- & postharvest factors in fruit storage*. 485: 203-208.
- Kerbel, E. L., Mitchell, F. G. y Mayer, G. 1987. Effect of postharvest heat treatments for insect control on the quality and market life of avocados. *HortScience*. 22: 92-94.
- Klein, J. y Lurie, S. 1991. Postharvest heat treatment and fruit quality. *Postharvest News and information*. 2: 15-19.
- Kritzing, M. y Kruger, F. 1997. Preliminary results on the evaluation of hot water heatshock treatment of South African avocados. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*. 20: 15.
- Kritzing, M., Kruger, F. y Bezuidenhout, M. 1998. Further evaluation of hot water/air heatshock treatment of South African avocados. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*. 21: 93-96.
- Lagunas-Solar, M., Zeng, N., Essert, T., Truong, T. y Cecilia Piña, U. 2006. Radiofrequency power disinfects and disinfests food, soils and wastewater. *California agriculture*. 60: 192-199.
- Latta, R. 1932. The vapor-heat treatment as applied to the control of *Narcissus* pests. *Journal of economic entomology*. 25: 1020-1026.
- Lurie, S. 1998. Postharvest heat treatments. *Postharvest Biology and Technology*. 14: 257-269.
- Lurie, S. y Klein, J. D. 1991. Acquisition of low-temperature tolerance in tomatoes by exposure to high-temperature stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 116: 1007-1012.
- Mccollum, T. G., D'aquino, S. y Mcdonald, R. E. 1993. Heat treatment inhibits mango chilling injury. *HortScience*, 28: 197-198.
- Moskowitz, A. H. y Hrazdina, G. 1981. Vacuolar contents of fruit subepidermal cells from *Vitis* species. *Plant physiology*. 68: 686-692.
- Nelson, S. 1996. Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control. *Transactions-American Society of Agricultural Engineers*. 39: 1475-1484.
- Nishijima, K. A., Chan Jr, H. T., Sanxter, S. S. y Linse, E. S. 1995. Reduced heat shock period of Sharwil avocado for cold tolerance in quarantine cold treatment. *HortScience*. 30: 1052-1053.
- Ornelas P, J. y Yahia, E. M. 2004. Effects of prestorage dry and humid hot air treatments on the quality, triglycerides and tocopherol contents in 'Hass' avocado fruit. *Journal of Food Quality*. 27: 115-126.
- Paull, R. E. y Chen, N. J. 1990. Heat shock response in field-grown, ripening papaya fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115, 623-631.
- Plumbley, R., Prusky, D. y Kobiler, I. 1993. The effect of hot-water treatment on the levels of antifungal diene and quiescence of *Colletotrichum gloeosporioides* in avocado fruits. *Plant pathology*. 42: 116-120.
- Sanxter, S. S., Nishijima, K. A. y Chan Jr, H. T. 1994. Heat-treating Sharwil avocado for cold tolerance in quarantine cold treatments. *HortScience*. 29: 1166-1168.
- Sitrit, Y., Riov, J. y Blumenfeld, A. 1986. Regulation of ethylene biosynthesis in avocado fruit during ripening. *Plant physiology*. 81: 130-135.
- USDA-APHIS 2009. Certifying facilities. Certification of hot water immersion facilities. Treatment Manual. En: <http://www.aphis.usda.gov/>.
- Vierling, E. 1991. The roles of heat shock proteins in plants. *Annual review of plant biology*. 42: 579-620.
- Vorster, L., Toerien, J. y Bezuidenhout, J. 1987. A storage temperature regime for South African export avocados. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*. 10: 146-148.
- Wang, S. y Tang, J. 2004. Radio frequency heating: a potential method for post-harvest pest control in nuts and dry products. *Journal of Zhejiang University-Science A*. 5: 1169-1174.
- Weller, P., Wolstenholme, B. y Savage, M. 1998. Post-harvest Vapour heat treatment of Hass and Fuerte avocado for the 1997 Season. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*. 21: 88-92.
- Woolf, A. B. 1997. Reduction of chilling injury in stored Hass' avocado fruit by 38° C water treatments. *HortScience*. 32:1247-1251.
- Woolf, A. B. y Lay-Yee, M. 1997. Pretreatments at 38 C of Hass' avocado confer thermotolerance to 50 C hot water treatments. *HortScience*. 32: 705-708.
- Woolf, A., Ferguson, I., Requejo-Tapia, L., Boyd, L., Laing, W. y White, A. 1999a. Impact of sun exposure on harvest quality of 'Hass' avocado fruit. *Revista Chapingo Serie Horticultural*. 5: 352-358.
- Woolf, A. B., Bowen, J. H. y Ferguson, I. B. 1999b. Preharvest exposure to the sun influences postharvest responses of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 15: 143-153.
- Woolf, A. B., Watkins, C. B., Bowen, J. H., Lay-Yee, M., Maindonald, J. H. y Ferguson, I. B. 1995. Reducing external chilling injury in stored Hass avocados with dry heat treatments. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 120: 1050-1056.
- Woolf, A. B., Wexler, A., Prusky, D., Kobiler, E. y Lurie, S. 2000. Direct sunlight influences postharvest temperature responses and ripening of five avocado cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 125: 370-376.
- Yang, S. F. y Hoffman, N. E. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 35: 155-189.