

IV. POSTCOSECHA



CAPÍTULO 15

Fisiología y tecnología postcosecha del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.)

Postharvest physiology and technology of habanero chili (*Capsicum chinense* Jacq.)

Maldonado-Astudillo, Yanik I.^{1,2}, Jiménez-Hernández, Javier^{1,2*}, y Salazar Ricardo³.

¹Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Universidad Autónoma de Guerrero. Av. Lázaro Cárdenas s/n, Ciudad Universitaria sur. Col. La haciendita. Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, México. C.P. 39090.

²Maestría en Competitividad y Sustentabilidad. Centro Unidad de estudios de Posgrado e Investigación. Universidad Autónoma de Guerrero. Calle Pino s/n. Col. El Roble. Acapulco de Juárez, Guerrero. C.P. 39640. *autor de correspondencia: yaixma@gmail.com

³CONACyT-Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Javier Méndez Aponte núm. 1. Fracc. Servidor Agrario. Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, México. C.P. 39070

Resumen

Capsicum chinense Jacq. pertenece a la familia Solanaceae y es ampliamente conocido en el mundo. En México se conoce como chile habanero y representa parte de la tradición e identidad cultural de México; sus cualidades y prestigio permitieron la otorgarle la denominación de origen 'chile habanero de la Península de Yucatán'. Los frutos del género *Capsicum* son no climatéricos. Las frutas de *C. chinense* muestran amplia variabilidad en sus características físicas como forma, tamaño, color, aroma y textura, las cuales cambian durante la maduración, siendo los cambios más drásticos en color y textura. El contenido de capsaicinoides también varía durante todas las etapas del desarrollo y, se observa una acumulación progresiva hasta los 45-50 días, donde puede alcanzar entre 120 y 200 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, para luego disminuir gradualmente. El momento de cosecha más frecuente en *C. chinense* es cuando el fruto ha alcanzado su tamaño máximo, se encuentra en etapa de madurez fisiológica con epicarpio color verde brillante y firmeza al tacto. En estas condiciones posee una vida de anaquel promedio de 2 semanas a 22 °C. La cosecha se hace manualmente conservando el pedúnculo. La calidad del fruto se basa en su apariencia externa (tamaño, forma, firmeza y color), nivel de pungencia e incluso, su peso y contenido de sólidos solubles. Se estiman pérdidas de producción de alrededor del 20 – 30 % anual, principalmente debido a infecciones microbianas y daños fisiológicos derivados del manejo poscosecha. Se han implementado diferentes tecnologías para incrementar su vida de anaquel, como el almacenamiento a bajas temperaturas, aplicación de radiaciones gamma y ultravioleta, control biológico, conservación por atmósferas controladas y modificadas, entre otras. La refrigeración a 10 °C es efectiva para almacenamiento en periodos prolongados (25 días).

Palabras clave: Climatérico, vida de anaquel, no climatérico, respiración.

Abstract

Capsicum chinense Jacq. it belongs to the Solanaceae family and is widely known in the world. In Mexico it is known as 'chile habanero' and represents part of the tradition and cultural identity of Mexico; its qualities and prestige allowed the granting of the denomination of origin 'chile habanero de la Península de Yucatán'. The fruits of the genus *Capsicum* are non-climacteric. The fruits of *C. chinense* show wide variability in their physical characteristics such as shape, size, color, aroma and texture, which change during ripening, being the main changes in color and texture. The capsaicinoids content also varies during all stages of development and a progressive accumulation is observed to 45-50 days, where it can reach between 120 and 200 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, and then gradually decrease. The most frequent harvest time in *C. chinense* is when the fruit has reached its maximum size, is in the stage of physiological maturity with shiny green epicarp and firmness. Under these conditions it has an average shelf life of 2 weeks at 22 °C. The harvest is executed manually keeping the peduncle. The quality of the fruit is based on its external appearance (size, shape, firmness and color), level of pungency and even its weight and content of soluble solids. The lossing production is around 20 - 30% per year are estimated, mainly due to microbial infections and physiological damages derived from postharvest handling. Different technologies have been implemented to increase shelf life, such as storage at low temperatures, application of gamma and ultraviolet radiation, biological control, conservation by controlled and modified atmospheres, among others. Refrigeration at 10 ° C is effective for storage over prolonged periods (25 days).

Keywords: Climacteric, Shelf life, non climacteric, respiration.

I. Introducción

Capsicum chinense Jacq. pertenece a la familia Solanaceae y es conocido en diversas partes del mundo. En México se conoce como chile habanero y representa parte de la tradición e identidad cultural de México, ya que han caracterizado la cocina mexicana desde hace al menos 8 siglos (Contreras-Padilla y Yahia, 1998). Su amplia dispersión geográfica tiene su centro de origen en América del Sur, zona que se considera de mayor diversidad (Bharath *et al.*, 2013) que se ha extendido hasta nuestro país, principalmente en la península de Yucatán, donde se le ha otorgado la "denominación de origen" (Diario Oficial de la Federación, 2008). Esta distinción se debe principalmente a que las condiciones climáticas y el sistema de cultivo tradicional que prevalece aún en día, han permitido desarrollar su variabilidad genética y persistencia como especie local (Andueza-Noh *et al.*, 2017). Dicha variabilidad constituye una fuente importante de genes útiles para programas de mejoramiento encaminados a incrementar la productividad del cultivo, así como la calidad de la fruta.

De acuerdo con Chunab *et al.* (2011), la calidad de un alimento está definida, en gran medida, por la percepción que tenga el consumidor de él, principalmente basado en las características sensoriales, nutrimentales, funcionales y de inocuidad. Por ello, conocer la fisiología de las frutas y hortalizas es clave para el desarrollo de programas de manejo pre y poscosecha orientados al aseguramiento de la calidad de los productos desde su origen. No obstante, aún son pocos los trabajos relacionados con este tema en *C. chinense*, por lo que el objetivo del presente trabajo fue

recopilar información relacionada con los principales cambios fisiológicos que sufren los frutos de *C. chinense* durante la maduración, así como los tratamientos poscosecha utilizados para mantener la calidad y prolongar la vida útil de chile habanero.

II. Revisión bibliográfica

2.1 Fisiología de la maduración de *Capsicum*

De acuerdo con Martínez-González *et al.* (2017), en la vida de los frutos se pueden distinguir tres etapas secuenciales: crecimiento, maduración y senescencia. Una vez que la flor ha sido polinizada y fertilizada (cuaje) inicia el proceso de división y elongación celular, el fruto incrementa su tamaño hasta alcanzar la madurez fisiológica (en inglés 'mature'). Es en esta etapa donde se inicia una serie de cambios bioquímicos irreversibles de control genético y hormonal para alcanzar la madurez de consumo (en inglés 'ripe'), entre los que se pueden mencionar cambios de color, sabor, aroma, textura y pérdida de firmeza, que conduce al ablandamiento del fruto, el deterioro de la membrana y finalmente a la senescencia o muerte celular.

Asimismo, al inicio de la madurez de consumo pueden ocurrir cambios importantes en la actividad respiratoria de las frutas. Si las tasas respiratorias y de producción de etileno aumentan, las frutas pueden madurar después de la cosecha (siempre y cuando esta ocurra en la etapa de pre climaterio) y se conocen como frutos 'climatéricos'; mientras que los frutos 'no climatéricos' no son capaces de continuar su proceso de maduración una vez que se desprenden de la planta madre debido a que no muestran incrementos visibles en sus tasas de respiración y producción de etileno durante la maduración (Elibox *et al.*, 2015; Martínez-González *et al.*, 2017).

El chile habanero y otros frutos del género *Capsicum* son no climatéricos, y aun cuando en algunos pimientos se observan concentraciones de etileno capaces de inducir la maduración, el aumento respiratorio coincidente con el inicio de la maduración suele estar ausente (Villavicencio *et al.*, 1999). La respiración es un proceso complejo que involucra la oxidación de carbohidratos y lípidos a CO₂ y agua para producir energía, puede ser influenciado por factores intrínsecos tales como la variedad, tamaño de la fruta, grado de madurez y tipo de tejido, así como por factores extrínsecos como la temperatura, concentración de gases y daños mecánicos (Mattos *et al.*, 2007).

Las variedades de *C. chinense* presentan tasas respiratorias medias, en comparación con otras especies del género *Capsicum*. Mattos *et al.* (2007) registraron valores de CO₂ entre 118 y 158 mg·kg⁻¹h⁻¹ en variedades coloridas de chile habanero de Brasil, los cuales incrementaron en el segundo día de almacenamiento hasta registrar picos de máxima producción de 213 y 272 mg·kg⁻¹h⁻¹ en la variedad anaranjada y amarilla respectivamente. Villavicencio *et al.* (1999) reportaron valores menores de CO₂ (89.2 mg·kg⁻¹h⁻¹) y etileno (0.367 μL·kg⁻¹h⁻¹) en frutos de habanero maduros en comparación con los frutos en estado verde (CO₂ = 117.8 mg·kg⁻¹h⁻¹, etileno = 0.611 μL·kg⁻¹h⁻¹); no obstante este comportamiento difirió en otras variedades como 'Chiltepín', que incrementó en 26 % la producción de CO₂ en el estado maduro (291.7 mg·kg⁻¹h⁻¹), pero disminuyó en 67 % la producción de etileno (0.11 μL·kg⁻¹h⁻¹).

A pesar de las bajas tasas respiratorias que presentan los frutos no climatéricos, el etileno exógeno juega un papel importante en los cambios bioquímicos que experimentan estos frutos una vez cosechados, aunque su sensibilidad varía independientemente de la especie (Finger y Pereira, 2016). Por ejemplo, cuando los frutos de *Capsicum* se cosechan en estado verde y son tratados con etileno no maduran normalmente, no así cuando se cosechan durante o después de la etapa

de cambio de color, donde se observan cambios progresivos propios de la maduración, lo que sugiere que los reguladores de la maduración pueden estar presentes exclusivamente desde esta etapa hacia adelante, posiblemente en una ruta independiente del etileno (Aizat *et al.*, 2013). Adicionalmente, Aizat *et al.* (2014) observaron cambios significativos en el contenido de almidón, azúcares y otros derivados durante las diferentes etapas de maduración de *C. annuum* var. Aries, lo que puede afectar la abundancia de algunos productos intermedios de glucólisis y, en consecuencia, otras rutas metabólicas que involucran aminoácidos, precursores de color y pungencia y productos intermediarios del ciclo del ácido tricarboxílico (TCA). Además, los metabolitos estrechamente relacionados con la producción de etileno, como la cisteína y la metionina, aumentaron gradualmente entre las etapas de maduración, mientras que la putrescina disminuyó significativamente durante la maduración, lo que sugiere que algunas partes de la ruta del etileno aún pueden ser funcionales en esta fruta no climatérica.

Las frutas de *C. chinense* muestran amplia variabilidad en sus características físicas como forma, tamaño, color, aroma y textura, las cuales cambian durante la maduración. Entre las características que experimentan cambios más drásticos se encuentran el color y la textura. En una colección de 264 accesiones de germoplasma de *C. chinense* del Caribe, Bharath *et al.* (2013) reportaron cuatro colores principales de frutas inmaduras: blanco, amarillo, púrpura y, con mayor frecuencia, verde en distintas tonalidades; mientras que en estado maduro se observaron doce colores, entre los que predominaron las variantes rojas. Por su parte, Baba *et al.* (2016) identificaron 10 tonalidades diferentes en frutos inmaduros de accesiones de *C. chinense* de Brasil, mientras que el color predominante en los frutos maduros fue el rojo (55 %), anaranjado (10 %) y una accesión blanca, naranja-amarilla y negra.

En *Capsicum annum*, Noichinda *et al.* (2017) indican que la clorofila predomina en la etapa de madurez verde de la fruta ($0.42 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ pf}$, peso fresco) y disminuye ligeramente hasta $0.1 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ cuando madura completamente y se torna roja, debido al incremento de la clorofilasa, cuyo pico de máxima actividad fue de $0.61 \text{ unidad} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \mu\text{g}^{-1}$ de proteína en la etapa roja. Durante la maduración de los frutos rojos de *Capsicum*, hay una síntesis intensa de pigmentos carotenoides (rojo-anaranjado), principalmente capsantina, capsorubina y criptocapsina (Lannes *et al.*, 2007); sin embargo, la antocianina (rojo-púrpura) también está presente desde la etapa verde, pero en menor proporción que la clorofila. El etileno está involucrado en la regulación de los genes de la biosíntesis de antocianinas, cuya acumulación depende del clima en el que se desarrollan las frutas (temperaturas bajas favorecen la biosíntesis); cantidad de nutrientes del suelo, donde el déficit de nitrógeno y fósforo inducen su acumulación; así como con la intensidad de luz del sol (Martínez-González *et al.*, 2017). Los pigmentos de las frutas son poderosos bioactivos de interés alimentario, cosmético y terapéutico, por lo que entender los procesos de su biosíntesis puede ser un aspecto importante para su aprovechamiento biotecnológico, tal como lo reportado por Pérez-Ambrocio *et al.* (2018), quienes lograron incrementar los bioactivos y la capacidad antioxidante del chile habanero al tratarlo con una combinación de 3 min de luz azul más 0.5 min de luz UV-C durante el almacenamiento.

El ablandamiento o pérdida de firmeza del fruto es un proceso complejo que involucra tres pasos subsecuentes que son la relajación de la pared celular, la despolimerización de hemicelulosas, y la despolimerización de poliuronidos por la poligalacturonasa u otras enzimas hidrolíticas. Dichas modificaciones involucran la acción coordinada e interdependiente de enzimas y proteínas modificadoras de la pared celular tales como la poligalacturonasa (EC 3.2.1.15), pectinmetilesterasa (EC 3.1.1.11), β -galactosidasa (EC 3.2.1.23) xiloglucano endotransglucosilasa (EC 2.4.1.207) y expansinas (Martínez-González *et al.*, 2017).

En cuanto a la composición química, el pH no muestra diferencia significativa entre el chile sazón y el maduro (Chunab *et al.*, 2011), no así el contenido de azúcares totales, los cuales disminuyen durante la maduración debido a que son utilizados como fuente de energía en el proceso respiratorio (Noichinda *et al.*, 2017). La acumulación de sólidos solubles en el pericarpio del fruto de *C. annum* se correlaciona positivamente con el contenido de materia seca de la fruta, por cada 1 % de aumento en el contenido de peso seco, los sólidos solubles aumentan aproximadamente 0.28 % (Lannes *et al.*, 2007).

La maduración también afecta el aroma de los frutos de *Capsicum*. Se han identificado más de 130 compuestos volátiles responsables del aroma en *C. chinense*, principalmente ésteres y terpenoides, entre los cuales el (E)-2-hexenal, 3-metilbutanoato de hexilo, 3-metilbutanoato de (Z)-3-hexenilo, pentanoato de hexilo, 3,3-dimetilciclohexano y el ácido hexadecanoico son los de mayor predominancia. El mayor rendimiento de compuestos volátiles se observó en accesiones de tonalidades naranja y marrón (6.68 a 11.84 mg·kg⁻¹), quienes además presentan mayor proporción de ésteres con notas florales que los cultivares rojos. Durante la maduración del chile Habanero la mayoría de los compuestos con notas de olor verde disminuyen o desaparecen, mientras, por el contrario, ésteres con notas de olor afrutado aumentan su contenido (Sosa-Moguel *et al.*, 2018).

El contenido de capsaicinoides también varía durante la maduración. La concentración de capsaicinoides es diferente en todas las etapas del desarrollo, pero se observa una acumulación progresiva durante un período relativamente corto del desarrollo de la fruta, donde puede alcanzar entre 120 y 200 µg·g⁻¹ después de 45-50 días desde el establecimiento de la fruta, para luego disminuir gradualmente. De esta forma, los frutos maduros de *C. chinense* contienen cantidades superiores de capsaicina, comparado con el estado verde. Existe una relación inversa entre el contenido de capsaicinoides y la actividad de la peroxidasa; esta enzima oxida la capsaicina y la dihidrocapsaicina por lo que está asociada directamente a la pérdida de la pungencia (Contreras-Padilla y Yahia, 1998).

2.2 Índice de cosecha

El índice de madurez o cosecha es un conjunto de variables que permiten estimar el momento idóneo para la cosecha o recolección de un producto hortofrutícola, en el cual se ha logrado la madurez y características físicas, químicas y bioquímicas necesarias para un determinado fin. Depende de la especie y su naturaleza genética, parte de la planta utilizada, el destino del producto (consumo en fresco o industrialización), las condiciones ambientales, entre otros factores. Según Noichinda *et al.* (2017), el índice de cosecha de *Capsicum* depende básicamente del propósito de su uso; no obstante, el momento de cosecha más frecuente en *C. chinense* es cuando el fruto ha alcanzado su tamaño máximo, se encuentra en etapa de madurez fisiológica con epicarpio color verde brillante y se siente firme al tacto, debido a que desarrollan mejores características de calidad y tienen una vida útil más larga, que puede prolongarse hasta 2 semanas a 22 °C (González *et al.*, 2004; Elibox *et al.*, 2015).

Para cosechar las semillas, el momento óptimo es el más cercano al punto fisiológico de madurez, ya que se favorece la preservación del potencial fisiológico de las semillas. El mejor tiempo de cosecha del chile habanero para la producción de semillas varía entre 60 y 67 días después de la antesis, los indicadores de madurez fisiológica son el vigor, el contenido de humedad, la masa y el tamaño del fruto; la madurez de las semillas generalmente coincide con el comienzo del cambio de coloración roja. Las semillas de chile habanero de frutas cosechadas y sometidas a reposo tienen

una alta calidad fisiológica y menor latencia. Las semillas de chile habanero, cuando se cosechan cerca del punto de madurez y se secan en condiciones controladas (35 °C) en un flujo de aire constante, inducen la síntesis de proteínas resistentes al calor (dos Santos *et al.*, 2016). Finalmente, Andueza-Noh *et al.* (2017) sugieren almacenar las semillas de *C. chinense* a 26 °C, lo cual garantiza una vida útil hasta por seis meses, además de mayor porcentaje de germinación estándar total y permite obtener mayor número de plántulas normales.

La cosecha de chile habanero se hace manualmente conservando el pedúnculo. No se debe permitir que el fruto se sobremadure en la planta porque acelera su senescencia, acorta su vida de anaquel y el ciclo productivo de la planta. Se pueden realizar entre uno o dos cortes por semana, de acuerdo con el manejo que se le dé al cultivo, y si su sistema radical está sano, pueden incluso podarse las ramas viejas para promover brotes nuevos y tener mayor cosecha. La selección de la cosecha puede ser en función del color (verde, anaranjado o rojo) o por calidad en tres categorías: primera, segunda y calidad industrial (Corrales-García *et al.*, 2002).

Después de la recolección, si el producto va a ser preparado para la comercialización, es fundamental enfriarlo. El enfriado (también conocido como "preenfriado") elimina el calor de campo acumulado por el producto después de la cosecha, y ha de realizarse previamente a cualquier otra manipulación posterior. Cualquier retraso en el enfriado reducirá la vida poscosecha y disminuirá la calidad del producto. Incluso los productos que han sido sometidos a sucesivos calentamientos y enfriamientos se deterioran más lentamente que aquellos que no han sido enfriados (Coop Gamas *et al.*, 2011).

Adicionalmente, Elibox *et al.* (2015) recomiendan que los chiles habaneros se recolecten durante los periodos más frescos del día (temprano en la mañana o al final de la tarde) y que se almacenen o transporten a baja temperatura y alta humedad relativa de manera inmediata para asegurar una vida útil más larga. Las altas temperaturas aumentan la diferencia de presión de vapor entre la fruta y el entorno, que es el potencial de conducción para una transferencia más rápida de la humedad de la fruta al aire circundante. Además, las altas temperaturas hacen que los pericarpios y los pedicelos pierdan turgencia o firmeza, lo que dificulta el desprendimiento de los frutos de las plantas.

2.3 Atributos de calidad del chile habanero

La calidad de las frutas de *Capsicum* se basa en su apariencia externa (tamaño, forma, firmeza y color), nivel de pungencia e incluso, para la industria alimentaria, en su peso y contenido de sólidos solubles. En *C. chinense* se han descrito diferentes morfologías de la fruta, entre las que destacan las formas alargadas, campanuladas, cuadradas, triangular y redondeada; el tamaño oscila entre 1.14 y 9.88 cm, el diámetro de fruto entre 0.84 y 3.86 cm, su peso varía entre 0.46 y 24.2 g y el color del epicarpio va del verde, amarillo, naranja y diversas tonalidades de rojo al madurar, lo cual es un rasgo de calidad importante para la industria de colorantes y oleosinas (Lannes *et al.*, 2007; Baba *et al.*, 2016).

El peso de la fruta puede variar entre 5 y 19 g. Lannes *et al.* (2007) encontraron una correlación positiva entre el peso de la fruta y el grosor del pericarpio de *C. chinense*, donde las accesiones que produjeron frutos más grandes tuvieron pericarpios más gruesos. Esta correlación puede ser útil en la selección de las variedades más apropiadas para la venta en el mercado fresco, ya que las frutas con pericarpios más gruesos, además de tener mejor aspecto para el consumidor, son más resistentes a las heridas durante el manejo poscosecha. Lo anterior es similar a lo reportado por

Finger y Pereira (2016), quienes añaden que las frutas con pericarpio más grueso son menos susceptibles a la contracción debida a la pérdida intensa de agua durante la desecación. La pérdida de agua es la principal causa de detrimento de calidad de vida de los chiles, en parte se debe a la limitada capacidad de retención de agua que tiene el fruto por su naturaleza hueca, pero difiere entre especies, e incluso, entre variedades y etapas de madurez. El epicarpio permite que la fruta mantenga el agua a pesar de la baja humedad relativa en el aire circundante, particularmente después de la cosecha, además de ser útil también para el intercambio de gases entre el producto y su entorno (Díaz-Pérez *et al.*, 2007).

La pérdida de peso del chile habanero en poscosecha está supeditada también por la relación superficie/volumen y la composición de la epidermis cerosa (Finger y Pereira, 2016). La pérdida de agua ocurre inicialmente por difusión a través de la cutícula, debido a que la epidermis de los frutos maduros carece de estomas. La cutícula de *C. annum* var. 'poblano' posee casi tres veces más ceras que *C. chinense* ($634 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$ y $215 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$ respectivamente) y difieren en su composición química. La cera de la cutícula del chile poblano está compuesta por 4.6 % de ácidos grasos libres (principalmente C_{26}), 0.8 % de aldehídos, 14.5 % de alcanos (n-alcanos, alquenos, isoandanteisoalcanos) y 73.3 % de compuestos triterpenoides y esteroides, con predominancia de α y δ -amirinas; mientras que la cera de *C. chinense* contiene cantidades similares de alcoholes primarios (7-8 %) que el chile poblano, pero más ácidos grasos libres (14.5 %), aldehídos (5.4 %) y alcanos totales (57.3 %), principalmente C_{29} y C_{31} , así como menor cantidad de triterpenoides y esteroides (14.6 %), entre los que predominó la β -amirina. La tasa de pérdida de agua se correlaciona positivamente con la cantidad total de triterpenos y esteroides, así como con los monómeros C_{16} y el ácido 16-dihidroxihexadecanoico; pero se correlacionan de manera negativa con el contenido de alcanos y la cantidad de cera superficial total. Lo anterior sugiere que los constituyentes simples de la cutícula alifática de cadena recta forman barreras cuticulares más impermeables que los compuestos basados en isoprenoides más complejos. Por lo anterior, *C. chinense* presenta hasta 60 % menor tasa de pérdida de agua, en comparación con *C. annum* (Parsons *et al.*, 2012).

El grosor del pericarpio de las frutas del género *Capsicum* también se correlaciona con el contenido de sólidos solubles, donde los chiles con pericarpios más finos presentan mayor contenido de sólidos solubles, lo que los hace más adecuados para el procesamiento, particularmente en procesos de deshidratación, debido a que requieren menor cantidad de energía para la remoción del agua. Del mismo modo, el peso del fruto fresco se correlaciona de manera inversa con el contenido de materia seca acumulada; así los frutos grandes (~19 g) registran aproximadamente 16 % de materia seca comparados con los frutos pequeños (~0.99 g) que acumulan menor proporción (4.6 %) (Lannes *et al.*, 2007).

Además de la humedad, la temperatura es otro factor ambiental que mayor influencia ejerce sobre la calidad poscosecha de los frutos (Díaz Pérez *et al.*, 2007), la cual puede ser mermada por la presencia de lesiones causadas durante la cosecha o el manejo, tales como heridas, cortes, laceraciones de artefactos cortantes o punzantes que generan pérdida de la integridad de los tejidos (Coop Gamas *et al.*, 2011); la senescencia bioquímica natural que conduce a la pérdida de color y peso; así como síntomas de infección por plagas o enfermedades. La necrosis es un síntoma de deterioro del chile habanero, inicia en el pedicelo y progresa gradualmente hasta el cáliz hasta el pericarpio. No obstante, según el destino comercial de la fruta, ciertos rangos de necrosis son permitidos. Así, frutas sin defectos de color, tamaño o forma, pero con un máximo de 20 % de necrosis del pedicelo pueden ser comercializadas para consumo en fresco; mientras que aquellas

que presentan pedicelos y cálices necróticos pero que no muestran necrosis de pericarpio se pueden utilizar solo para la industrialización (Elibox *et al.*, 2015).

2.4 Tecnología poscosecha

La cosecha es una etapa crucial para el mantenimiento de la calidad de las hortalizas. De acuerdo con Coop Gamas *et al.* (2011), entre las causas de pérdidas más comunes durante la cosecha se encuentra el personal no calificado, material de cosecha inapropiado, índice de cosecha inadecuado, selección deficiente del producto, daño mecánico, malas prácticas de higiene y manejo, entre otras.

A pesar de sus bajas tasas respiratorias, las frutas del género *Capsicum* son altamente perecederas. Aunque cuantificar las pérdidas poscosecha de frutas y verduras no es fácil, se estima que las pérdidas oscilan alrededor del 20 – 30 % anual, principalmente debido a infecciones microbianas; daños fisiológicos derivados del proceso de cultivo, maduración o al manejo poscosecha; prácticas tecnológicas inadecuadas en la cosecha, el transporte, almacenamiento y empaque (Olayemi *et al.*, 2010). Por lo anterior, un adecuado manejo poscosecha es crucial para la mantener la calidad de los productos frescos.

En poscosecha, la pérdida de agua es el principal problema que demerita la calidad de las frutas. Cuando la pérdida de agua de un fruto alcanza 6 - 7 % de su peso, la firmeza y la apariencia disminuyen y en consecuencia su calidad y vida de anaquel, por lo que es importante mantener la humedad relativa óptima (90-95 %) para prevenir la desecación (Olayemi *et al.*, 2010; Coop Gamas *et al.*, 2011). Otro factor importante que se debe tener en cuenta al diseñar un programa de manejo poscosecha son las tasas de respiración de las variedades de fruta, así como la acumulación de etileno en el ambiente que rodea al fruto durante su almacenamiento (Villavicencio *et al.*, 1999).

Para evitar o minimizar dichas pérdidas, y prolongar la vida poscosecha de los productos hortofrutícolas, se han implementado diferentes tecnologías, como son el almacenamiento a bajas temperaturas, aplicación de radiaciones gamma y ultravioleta, control biológico, conservación por atmósferas controladas y modificadas, entre otras (Fernández Valdés *et al.*, 2015). Las principales ventajas de las atmósferas modificadas son retardar la maduración y senescencia, prevenir y controlar algunos desordenes fisiológicos (fisiopatías) como son el daño por frío y el escaldado, controlar o prevenir enfermedades y pudriciones ocasionadas por microorganismos, controlar las infestaciones ocasionadas por insectos, mantienen la calidad nutritiva de las frutas y hortalizas (Coop Gamas *et al.*, 2011). La aplicación de ceras y otros recubrimientos naturales o sintéticos son ejemplos de atmósferas modificadas que han mostrado ser útiles para contrarrestar las pérdidas de agua de muchos tipos de fruta, además de que sus propiedades de barrera permiten en algunos casos la difusión selectiva de gases como el etileno, oxígeno y dióxido de carbono, sin afectar sus propiedades organolépticas y sensoriales.

La refrigeración es un método viable para la conservación del chile habanero. González *et al.* (2004) utilizaron refrigeración a 7 °C en combinación con atmósferas modificadas a través de bolsas de polietileno perforadas en frutos en etapa de madurez verde, con lo cual lograron incrementar hasta en 20 días el almacenamiento, seguido de un periodo de maduración de 5 días a 22 °C. Las bajas temperaturas o el uso de atmósferas modificadas no modifican el color de las frutas de *C. chinense* (Coop Gamas *et al.*, 2011; Pérez-Ambrocio *et al.*, 2018).

Por otro lado, al igual que otras frutas frescas, *C. chinense* es susceptible a desarrollar síntomas de daño por frío. Aunque la refrigeración a 10 °C es efectiva para almacenamiento en periodos prolongados (25 días), temperaturas inferiores a esta genera daño por frío. La fruta sometida a estrés por frío sufre cambios fisiológicos y bioquímicos antes de que los síntomas sean visibles y su severidad depende de la variedad, etapa de maduración (Finger y Pereira, 2016) y tiempo de exposición. Los síntomas de daño por frío pueden ser picaduras (debidas al colapso de células epidérmicas), translucidez del mesocarpio, oscurecimiento de las semillas e infecciones secundarias; pero a medida que se extiende el período de enfriamiento, las picaduras se agrandan y la tasa de decoloración de los pedicelos, cálices y semillas aumenta. Para mantener la calidad y aliviar las lesiones por frío del chile habanero se pueden utilizar tratamientos combinados que incluyen inmersión en hipoclorito de sodio, atmósfera modificada y almacenamiento a baja temperatura. Por ejemplo, el chile habanero se puede almacenar en empaques de polietileno de alta densidad (HDPE) microperforados por períodos cortos (15 días) a 5 °C sin daños graves. La ventaja de usar HDPE es su permeabilidad, que permite el intercambio gaseoso restringido pero equilibrado, además de posibilitar una acción prolongada y más eficiente del hipoclorito de sodio, lo que resulta en una mayor retención de sustancias volátiles activas en la superficie de la fruta (Mohammed *et al.*, 2015).

Aunque la principal forma de consumo de *C. chinense* es en fresco, una parte importante del cultivo se destina a la industrialización. Entre los fines alimenticios más conocidos es el de servir como aditivo colorante (paprika) para la elaboración de embutidos como chorizo y salami u hojuelas de maíz; saborizante en el ron o en la bebida de ginger ale; en la fabricación de salsas picantes y aderezos tipo cátsup y mayonesa; pureses y pastas, entre otros. Por otro lado, en la industria avícola se mezcla con los alimentos balanceados para producir huevos con yema de color más rojizo; como aditivo de la industria tabacalera, en la fabricación de cigarros y tabaco; como complemento de productos químicos repelentes de animales como coyotes, mapaches o incluso elefantes; como ingrediente en la elaboración de cables y alambres conductores de fluidos, para evitar el daño por roedores; pintura para barcos, por su alta capacidad anticorrosiva; además de extraer la capsaicina para fines farmacéuticos, como pomadas calientes; cosméticos y en la industria de la defensa para elaborar gas lacrimógeno (Corrales-García *et al.*, 2002; Olayemi *et al.*, 2010; Coop Gamas *et al.*, 2011; Elibox *et al.*, 2015).

III. Conclusiones

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) forma parte de la identidad cultural y gastronómica de México; sus cualidades y prestigio permitieron otorgarle la denominación de origen 'chile habanero de la Península de Yucatán'. Es un fruto no climatérico de importancia económica. Se conoce ampliamente la fisiología pre y poscosecha de algunas variedades; sin embargo, es necesario ampliar el estudio a otras variedades ya que existe una gran diversidad morfológica de este recurso. Definir la tecnología poscosecha más adecuada para el manejo de los frutos en fresco o procesados es determinante para ampliar su vida de anaquel, mercado internacional; así como para diversificar los productos desarrollados a partir de los frutos. Sin duda, el chile habanero representa un recurso emblemático de México, el cual requiere de mayores estudios que apoyen el desarrollo y fortalecimiento de su cadena de producción e impacten en la economía nacional.

IV. Referencias

- Aizat, W. M., Able, J. A., Stangoulis, J. C.R. y Able, A. J. (2013). Characterisation of ethylene pathway components in non-climacteric *capsicum*. BMC Plant Biology, 13(1), 1–14. <http://www.biomedcentral.com/1471-2229/13/191>
- Aizat, W. M., Dias, D. A., Stangoulis, J. CR., Able, J. A., Roessne, U. y Able, M. J. (2014). Metabolomics of *capsicum* ripening reveals modification of the ethylene related-pathway and carbon metabolism. Postharvest Biology and Technology, 89, 19-31. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.11.004>
- Andueza-Noh, R. H., Latournerie-Moreno, L., Moran-Vázquez, N., Cervantes-Ortiz, F., Mendoza-Elos, M. y Rangel-Lucio, J. A. (2017). Respuesta fisiológica de la semilla de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) al almacenamiento. Acta Universitaria, 27(6), 22–29. doi: 10.15174/au.2017.1395.
- Baba, V. Y., Rocha, K. R., Gomes, G. P., Ruas, C. F., Ruas, P. M., Rodríguez, R. y Gonçalves, L. S. A. (2016). Genetic diversity of *Capsicum chinense* accessions based on fruit morphological characterization and AFLP markers. Genetic Resources and Crop Evolution, 63(8), 1371-1381. doi: 10.1007/s10722-015-0325-4.
- Bharath, S. M., Cilas, C. y Umaharan, P. (2013). Fruit Trait Variation in a Caribbean Germplasm Collection of Aromatic Hot Peppers (*Capsicum chinense* Jacq.). Hortscience, 48(5), 531-538.
- Chunab, C., Duch, E. S., Castillo, L. O. y Burgos, J. I. R. (2011). Evaluación de la calidad en la industrialización del chile habanero. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 12(2), 222-226. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81320900014>
- Contreras-padilla, M. y Yahia, E. M. (1998). Changes in capsaicinoids during development, maturation, and senescence of chile peppers and relation with peroxidase activity. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 46(6), 2075-2079. doi: 10.1021/jf970972z.
- Coop Gamas, Y. F., Corona Cruz, A. I., Rodríguez Rivera, R. y Herrera Rodríguez, F. J. (2011). Conservación de la calidad poscosecha en chile habanero (*Capsicum chinense* J.) mediante atmósferas modificadas. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 12(1), 80-86.
- Corrales-García, J., Alonso Carrillo, M. G., Anzúres Santos, G., Gallardo Sandoval, A., Hernández Trejo, M. M., Justo Gómez, M. R., Lara Ruiz, G. y López Navarrete, M. C. (2002). El sistema agroindustrial " chile habanero " en Yucatán. In: Gómez Cruz, M. Á., Schwentesius Rindermann, R., and Covarrubias, I. (eds) *Frutas y Hortalizas, Estado actual y nuevas alternativas en México*. PIAI-CIEST. PIAI-CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo y RISHORT, pp. 81–96.
- Diario Oficial de la Federación, (DOF) (2008). Declaratoria General de Protección de la Denominación de Origen Chile Habanero de Yucatán. In: Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
- Díaz-Pérez, J. C., Muy-rangel, M. D. y Mascorro, A. G. (2007). Fruit size and stage of ripeness affect postharvest water loss in bell pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). Journal of Science Food and Agriculture, 87(1), 68-73. doi: 10.1002/jsfa.
- Elibox, W., Meynard, C. P. y Umaharan, P. (2015). Morphological changes associated with postharvest fruit deterioration and physical parameters for early determination of shelf life in *Capsicum chinense* Jacq. Hortscience, 50(10), 1537-1541.
- Fernández-Valdés, D., Bautista Baños, S., Fernández Valdés, D., Ocampo-Ramírez, O., García-Pereira, A. y Falcón Rodríguez, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. Revista Ciencias

- Técnicas Agropecuarias, 24(3), 52-57. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v24n3/rcta08315.pdf>
- Finger, F. L. y Pereira, G. M. (2016). Physiology and Postharvest of Pepper Fruits', In: Ramalho do Rêgo, E., Monteiro de Rêgo, M., Finger, M., Luiz, F. (Eds). *Production and Breeding of Chilli Peppers (Capsicum spp.)*. Springer, pp. 27-40. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-06532-8_2.
- González, M. Centurión, A., Sauri, E. y Latournerie, L. (2004). Influence of refrigerated storage on the quality and shelf life of 'Habanero' chili peppers (*Capsicum chinense* Jacq.). *ISHS Acta Horticulturae*, 682, 1297-1302. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.682.174>
- Lannes, S. D., Finger, F. L., Schuelter, A. R. y Casali, V. W. D. (2007). Growth and quality of Brazilian accessions of *Capsicum chinense* fruits. *Scientia Horticulturae*, 112, 266-270. doi: 10.1016/j.scienta.2006.12.029.
- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A. y López-Gúzman, G.G. (2017). Postharvest fruits: maturation and biochemical changes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(19), 4075-4087. DOI: 10.17660 / ActaHortic.2005.682.174
- Mattos, L. M., Henz, G. P., Moretti, C. L. y Sousa, R. M. D. (2007) *Atividade respiratória de pimentas (Capsicum chinense L.) durante o armazenamento*. Brasília: Horticultura Brasileira. Embrapa, Brasil. 12 pp.
- Mohammed, M., Wilson, L. y Gomes, P. (2015). Occurrence, Manifestation and Alleviation of Chilling Injury of Hot Peppers (*Capsicum chinense* L.) *Acta Horticulturae*, 1016, 89-94. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1016.10>
- Noichinda, S., Bodhipadma, K., Mounjongprang, D., Thongnuring, N. y Kasiolarn, H. (2016). Harvesting indices of Chi-fah Yai pepper (*Capsicum annum* L.) fruit. *Journal of Applied Science*, 15(2), 20-23. doi: 10.14416/j.appsci.2016.11.001.
- Olayemi, F. F., Adegbola J. A., Bamishaiye E. I. y Daura A. M. (2010). Assessment of post-harvest challenges of small scale farm holders of tomatoes, bell and hot pepper in some local government areas of kano state, Nigeria. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(2), 39-42.
- Parsons, E. P. Popopvskyb, S., Lohreya, G. T., Lu", S., Alkalai-Tuviab, S. y Perzelanb, Y., Paranb, I., Fallikb, E. and Jenksd, M. A. (2012). Fruit cuticle lipid composition and fruit post-harvest water loss in an advanced backcross generation of pepper (*Capsicum* sp.). *Physiologia Plantarum*, 146, 15–25. doi: 10.1111/j.1399-3054.2012.01592.x.
- Pérez-Ambrocio, A., Guerrero-Beltrán, J. A., Aparicio-Fernández. X., Ávila-Sosad, R., Hernández-Carranza, P., Cid-Pérez, S. y Ochoa-Velasco, C. E. (2018). Effect of blue and ultraviolet-C light irradiation on bioactive compounds and antioxidant capacity of habanero pepper (*Capsicum chinense*) during refrigeration storage. *Postharvest Biology and Technology*, 135, 19–26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.023>
- Dos Santos, H. O. Dutra, S. M. F., Pereira, R. W., Pires, R. M. O., Pinho, E. V. R. R., Da Rosa, S. D. V. F and De Carvalho M. L. M. (2016). Physiological quality of habanero pepper (*Capisicum chinense*) seeds based on development and drying process. *African Journal of Agricultural Research*, 11(12), 1102–1109. doi: 10.5897/AJAR2015.10462.
- Sosa-Moguel, O. Cuevas-Glory, L., Pino. J. A., y Sauri-Duch, E. (2018). Conocimiento actuales sobre el aroma de chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 28(3), 68-72.
- Villavicencio, L., Blankenship, S. M., Douglas, C. S., Swallow, W. H. (1999). Ethylene and Carbon Dioxide Production in Detached Fruit of Selected Pepper Cultivars. *Journal of American Society Horticulture Science*, 124(4), 402-406.