

Capítulo XIII

La calidad y el manejo de la cosecha y la poscosecha de la lima ácida Tahití

María Cristina García Muñoz, Blanca Lucía Botina Azaín, Mauricio Fernando Martínez, Jairo López González y Nubia Murcia Riaño

En la labor de cosecha se consolida todo el trabajo realizado durante la etapa productiva y, por lo tanto, es la fase en la que se verán reflejadas las decisiones tomadas en el desarrollo del cultivo. A su vez, en la poscosecha se llevan a cabo las operaciones de acondicionamiento de la fruta, que tienen como fin preservar la calidad de la lima por un mayor tiempo y conferirle más valor (Brito, Cháfer, & González, 2012).

Por otra parte, también se ejecutan las actividades de transformación, que buscan incrementar la vida útil de la fruta, pero a través del procesamiento y la conversión en productos más elaborados, con vida útil y valor agregado mayores, así como otras formas de presentación, que pueden estar dirigidas a otro grupo de consumidores.

En el presente capítulo, se exponen las recomendaciones para el manejo de los frutos de lima ácida Tahití en cosecha, poscosecha y transformación, para la incorporación en el proceso productivo.

Planeación de la cosecha

Para garantizar la recolección y la calidad de la fruta es importante hacer una planeación adecuada. Con este objetivo, el primer paso es determinar cuándo se debe cosechar, o el momento óptimo de cosecha. Esta decisión depende principalmente de dos factores: el estado de desarrollo fisiológico de la fruta (figura 109) y los requisitos del mercado.

Una vez que se ha definido el día de la cosecha, se requiere planear la logística necesaria para realizar esta actividad en el menor tiempo posible, sin afectar la calidad de la fruta. A continuación, se presentan los parámetros que se deben tener en cuenta.



Foto: Mauricio Martínez

Figura 1. Frutos de lima ácida Tahití en su estado óptimo de cosecha.

Momento óptimo de cosecha

Este momento se determina básicamente por dos criterios: el mercado y el estado de desarrollo de la fruta. Las principales características que el mercado o el consumidor tienen en cuenta son el calibre o tamaño, el color, el sabor, el contenido de jugo y la firmeza.

Esta información, sumada a otros factores, como la distancia entre la finca y los centros de venta, los medios de transporte y las vías de comunicación, permiten calcular el tiempo requerido y las condiciones que debe soportar la fruta para cumplir con los requisitos del mercado y, por consiguiente, reducir los porcentajes de rechazo, mejorar los precios de venta y disminuir las pérdidas poscosecha, las cuales se han calculado entre el 12 % y el 25 % (Espinal, Martínez, & Peña, 2005).

Requisitos del mercado

Algunos de los requerimientos tienen aspectos comunes en todos los mercados, pero hay otros en los cuales difieren. Con el fin de homologar el lenguaje y facilitar las transacciones a distancia, asegurando la claridad en los parámetros utilizados, el mercado se apoya en las normas técnicas del producto.

En Colombia, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) (1997) emitió la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4087, México cuenta con la norma NMX-FF-077 (Dirección General de Normas, 1996), en Estados Unidos se encuentra la United States Standards for Grades of Persian (Tahiti) Limes (United States Department of Agriculture [USDA], 2016), y para referencias internacionales existe la Codex Stan 213-1999 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2007).

Estas normas contienen factores comunes, en temas relacionados con el estado general de la fruta; el aspecto fresco; el sabor; que esté entera, firme y bien formada; que esté libre de decaimiento, rupturas de la piel, enfermedades o daños por insectos; que no tenga el olor característico de la fermentación; que no presente una humedad extraña, consecuencia de golpes, ni decoloración interna, durezas o pieles secas, ni restos de tierra, hojas o material ajeno a la fruta.

Sin embargo, también difieren en algunos aspectos, como el contenido mínimo de jugo, el cual, según la norma Codex Stan 213-1999 (FAO, 2007) debe ser de mínimo el 42 %; mientras que la FAO (Arias & Toledo, 2000) y Europa señalan como mínimo un 20 % de jugo, California entre el 28 % y el 30 % para la cosecha; y en Uruguay y Sudáfrica entre el 35 % y el 36 %, para exportar a la Unión Europea (Lado, Rodrigo, & Zacarías, 2014).

Otros requisitos específicos son la homogeneidad e intensidad del color de la cáscara. Los mercados europeos son los más exigentes en este aspecto, pues buscan frutos de un color verde intenso y uniforme, sin manchas o heridas de ningún tipo. Aunque cada norma incluye los límites o tolerancias respectivas

para cada categoría de fruta, por lo general las características específicas son acordadas entre el comprador y el vendedor.

De acuerdo con las experiencias de los comercializadores y exportadores de lima ácida Tahití en Colombia, se ha podido establecer que, para el mercado interno, el contenido de jugo es el parámetro de calidad de mayor importancia, debido a que es utilizada principalmente para la preparación de refrescos. Para el mercado externo se tienen como referencia otros requisitos.

El mercado de Estados Unidos exige limas que no presenten daños causados por plagas o enfermedades, aunque se aceptan algunas excepciones, como la presencia de manchas y cicatrices, siempre y cuando no alteren la calidad sanitaria de la fruta (Martínez & Iriarte, 2004; Tejacal, Beltrán, Lugo, & Ariza, 2009).

Estas manchas y cicatrices no deben sobrepasar el 25 % del área superficial del fruto para entrar en la categoría extra y el 50 % para la categoría de primera. En cuanto al calibre (aunque este no es un requisito de calidad), se prefieren tamaños mayores a 38 mm de diámetro.

El mercado europeo es más exigente en cuanto a la apariencia de la fruta, debido a que la utilizan principalmente para coctelería. Por tal razón, buscan características como una cáscara de color verde intenso y uniforme, sin manchas de sol o sombra, ni cicatrices causadas por el roce de los frutos con hojas o ramas (figura 110).

Los frutos en los que se observa algún tipo de daño sanitario o presencia de ácaros son rechazados y, aunque se exige que estén clasificados por tamaño, el calibre no es un criterio de calidad que ocasione un rechazo (Espinal et al., 2005; Martínez & Iriarte, 2004).



Figura 2. Lima ácida Tahití apta para la cosecha y el mercado de exportación. a. Frutos de color homogéneo, sin manchas ni daños en la piel; b. Presentación de frutos para exportación.

Otro mercado interesante para la comercialización de la lima ácida Tahití es el de los productos orgánicos, el cual viene creciendo a nivel mundial, impulsado por el interés de los consumidores en la ingesta de productos naturales. Los comercializadores, conscientes de las dificultades de la producción de frutas orgánicas, son más laxos en los requisitos relativos a los porcentajes de daño debidos a manchas por golpe de sol y cicatrices por roce con las hojas y ramas, siempre y cuando no presenten daños por plagas o enfermedades.

Estado fisiológico y calidad de la fruta

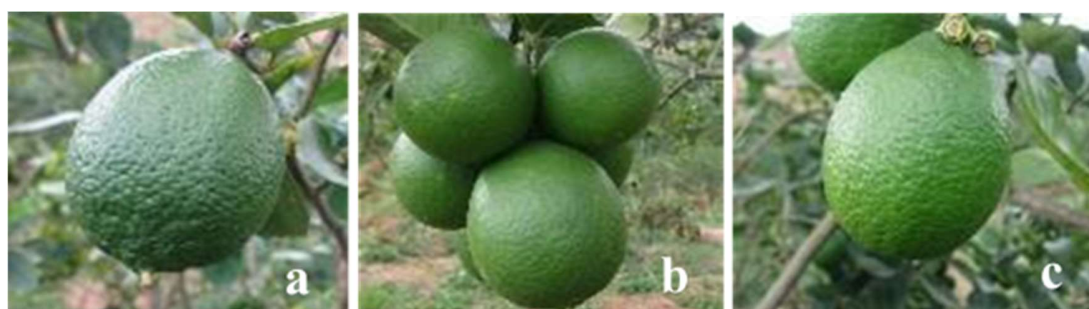
Para definir los indicadores de madurez de la cosecha de la fruta y satisfacer los requisitos del mercado, es necesario conocer su desarrollo, crecimiento y maduración. La lima ácida Tahití es un fruto no climatérico, lo que significa que no continuará madurando después de ser cosechado (Arias & Toledo, 2000; Lado et al., 2014; Reina, Vargas, & Witz, 1995). Esta condición exige que el momento de la cosecha sea muy próximo al estado de madurez requerido por el mercado.

Para exportación, se requiere una lima ácida Tahití verde oscura y con piel aún rugosa (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2015; Espinal et al., 2005; Lado et al., 2014; Tejacal et al., 2009; Unidad Técnica de Estudios para la Industria [UTEPI], 2006), mientras que para el mercado interno

las limas con tonalidades amarillas representan un estado de maduración más avanzado y un mayor contenido de jugo.

El color y el tamaño son las características más utilizadas para decidir el momento óptimo de cosecha, tanto para el mercado externo como para el interno. Sin embargo, al no haber referencias precisas para definir el color, la determinación de ese momento se dificulta (figura 111), lo que conduce a frutos con una alta variabilidad en el color y estado de madurez.

Esta falta de homogeneidad en la fruta recolectada afecta el precio en el mercado, lo cual hace necesaria la incorporación de otros criterios de madurez, como el tiempo transcurrido desde la floración o desde el cuajado del fruto, las horas luz o las unidades de calor, entre otros.



Fotos: María Cristina García

Figura 3. Frutos de lima ácida Tahití en diferentes grados de madurez, representados en las diferentes tonalidades de verde. a. Estado de madurez 0; b. Estado de madurez 1; c. Estado de madurez 2.

Nota: Grados establecidos por la NTC 4087 (Icontec, 1997).

El color y la apariencia siguen siendo los factores más importantes para el mercado externo, y por eso resulta necesario tener parámetros o patrones de referencia para determinar el color que satisfaga estos requerimientos. Aunque se cuenta con la NTC 4087, su difusión y uso entre los productores es muy limitada, por lo cual se recomienda que los cosechadores sean capacitados acerca de las características de los frutos de lima ácida Tahití que se van a cosechar, y que dispongan de tablas de color o frutos de referencia que cumplan los requisitos de calidad exigidos por el mercado.

El tamaño de los frutos es una de las cualidades más importantes para la cosecha, pero presenta una alta variabilidad, dependiendo de las condiciones edafoclimáticas, de los portainjertos y de la época de cosecha de cada uno de los huertos. García, Olmo y García (2016) reportan diámetros ecuatoriales de frutos de limas entre 49 y 56 mm, Piña et al. (2006) entre 54 y 63 mm, y López (2016) entre 40 y 70 mm.

Con el fin de mejorar los criterios de la cosecha, se recomienda tener en cuenta otros indicadores, como los días transcurridos desde la floración o desde el cuajado del fruto, así como el porcentaje de jugo. Este último parámetro depende de los requerimientos específicos de cada país.

La norma Codex Stan 213-1999 (FAO, 2007) y la norma mexicana NMX-FF-077-1996 indican que el contenido mínimo de jugo para la comercialización de la lima ácida Tahití debe ser del 42 %, mientras que la NTC 4087 (ICONTEC, 1997) establece un 27 %, a partir de un fruto verde oscuro bien desarrollado. Ladaniya (2008) reporta que en Estados Unidos el contenido de jugo debe ser de al menos el 30 %.

En Colombia, García, Botina y Calvo (2016) evaluaron frutos de limas provenientes de tres regiones del país, injertados sobre seis portainjertos, que registraron contenidos de jugo de entre el 30 % y el 46 %, lo que evidencia que las variaciones en esos contenidos se deben principalmente a las condiciones edafoclimáticas y no a los portainjertos.

Otro indicador que resulta muy útil como criterio para la cosecha es la firmeza, que está inversamente relacionada con el contenido del jugo, es decir que, a mayor contenido de jugo, la firmeza del fruto es menor. García, Botina et al. (2016) reportan valores de firmeza entre 4,1 y 7,2 kg-f, dependiendo del portainjerto y la localidad de producción.

El tiempo transcurrido desde la floración o desde el cuajado del fruto es otro de los parámetros prácticos, pero está altamente influenciado por las condiciones edafoclimáticas del lugar donde están establecidos los huertos. Algunos autores sugieren que 165 días después del cuajado es el punto adecuado de madurez para la cosecha (Milla, Arizaleta, & Díaz, 2009).

Otros autores establecen que se pueden cosechar frutos entre 120 y 165 días después de la floración (Cañizares, Bonafine, Méndez, Laverde, & Puesme, 2012), o entre 80 y 120 días después del cuajado, según López (2016). Este tiempo puede estar influenciado no solo por las condiciones edafoclimáticas sino también por el manejo del cultivo.

En cada uno de los sitios reportados, este tiempo garantiza que la fruta alcance su madurez fisiológica, y presente el color verde oscuro intenso y la piel rugosa que requiere el mercado. Sin embargo, la maduración de la fruta en el árbol no es uniforme, por lo que se pueden encontrar frutos con visos o tonalidades amarillas y sobremaduros, los cuales se deben descartar, ya que no son aceptados en los mercados internacionales (figura 112).

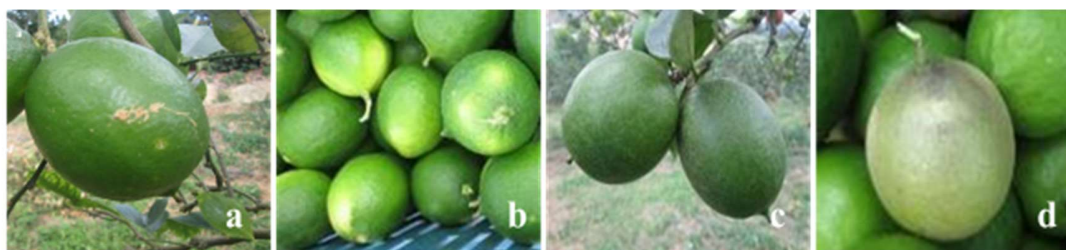


Foto: María Cristina García

Figura 4. Lima ácida Tahití no apta para exportación, dado su avanzado grado de madurez.

Nota: Estado de madurez 4, según la NTC 4087 (Icontec, 1997).

Los demás criterios exigidos por el mercado están relacionados con la apariencia de la fruta, la cual debe estar libre de cicatrices, cortes, magulladuras, manchas, enfermedades o plagas, como las observadas en la figura 113. Así lo estipulan la NTC 4087 (ICONTEC, 1997), el Codex Stan 213-1999 (FAO, 2007) y la NMX-FF-077-1996 (Espinal et al., 2005).



Fotos: María Cristina García

Figura 5. Principales tipos de daño en lima ácida Tahití cosechada, causantes de su rechazo en el mercado. a. Cicatrices; b. Golpe de sol; c. Ácaros; d. Otros daños.

Estos daños pueden constituir un alto porcentaje de pérdidas, representadas en un castigo en los precios o, en el peor de los casos, la pérdida total de la fruta. Por lo tanto, es importante identificar las causas de estas pérdidas para poder superarlas.

Las causas pueden tener diferentes orígenes, como factores de la precosecha o técnicas inapropiadas de cosecha y poscosecha (acondicionamiento, almacenamiento y transporte) (Arias & Toledo, 2000; Espinal et al., 2005; Ministry of Fisheries, Crops and Livestock [MINFCL], New Guyana Marketing Corporation [NGMC], & National Agricultural Research Institute [NARI], 2004; Pérez, 2010; Reina, Vargas, & Witz, 1995; Rivera et al., 2010; Tejacal, et al., 2009).

Factores de la precosecha que afectan la calidad de la fruta

Entre los factores más importantes de la precosecha que afectan la calidad de la fruta se encuentran las condiciones edafoclimáticas. Posiblemente, la más significativa de ellas es la temperatura, pero la humedad relativa, la luminosidad, la precipitación, el tipo de portainjerto y el manejo cultural (podas y fertilización) también son importantes para la calidad (Cañizares et al., 2012; DANE, 2015; Dorado, Grajales, & Ríos, 2015; Martínez & Iriarte, 2004; Milla et al., 2009; Pérez, 2010; Rivera et al., 2010).

La temperatura tiene una gran incidencia en la velocidad de las diferentes reacciones de los procesos químicos y biológicos que conducen al crecimiento, desarrollo y maduración del fruto. Las temperaturas altas favorecen el rápido desarrollo de los frutos, por lo que alcanzan un tamaño, contenido de jugo, acidez y aromas mayores en un tiempo más corto. No obstante, también implican una mayor sensibilidad de los frutos al deterioro que los cultivados en zonas templadas (Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012).

Por lo anterior, en zonas cálidas, el cultivo requiere una mayor atención en los periodos de desarrollo del fruto, para identificar el momento adecuado de cosecha, pues la madurez se alcanza más rápido y, si se cosecha en estados avanzados, el fruto es más sensible a la pudrición estilar, lo cual dificulta la comercialización. Así mismo, si en zonas de temperaturas altas hay periodos prolongados de déficit hídrico, los frutos se pueden caer o no tener un buen desarrollo, lo que incrementa las pérdidas.

La temperatura ejerce un efecto determinante en la vida útil de la fruta en poscosecha: por cada 10 °C de aumento de la temperatura, la velocidad de deterioro se duplica o triplica, debido al incremento de la tasa de respiración y transpiración. La primera implica el rápido consumo de las reservas de azúcares y ácidos, mientras que la segunda conduce a la deshidratación de la fruta.

Se ha establecido que, en climas tropicales con pequeñas variaciones de temperatura a lo largo del día y la noche, se obtienen frutos más grandes, con un mayor contenido de jugo y uno menor de sólidos solubles y acidez, y una piel más verde y fina que aquellos obtenidos en zonas subtropicales (Senthelas, 2005).

Las fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche pueden ocasionar el deterioro de la clorofila y favorecer la aparición de carotenoides, lo que afecta la homogeneidad de la intensidad y la tonalidad del color de la lima ácida Tahití.

Las horas luz tienen un efecto en la elaboración de carbohidratos, en especial de azúcares, por lo cual el contenido de sólidos solubles se ve favorecido con la alta luminosidad. Lo mismo sucede con la vitamina C: los frutos ubicados en la parte

externa de la copa de los árboles presentan un mayor contenido de sólidos solubles y de vitamina C que los que se encuentran en la parte baja.

Por otro lado, el color del fruto también se ve afectado por la luminosidad, que logra un color intenso y brillante cuando es alta (Lozano, 1996), mientras que la baja luminosidad induce frutos amarillos, de menor firmeza y con una mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades (Rodríguez, 2002) (figura 114).



Fotos: María Cristina García

Figura 6. Aspecto de lima ácida Tahití con baja luminosidad en etapas tempranas de su maduración.

El viento es otro factor que afecta la calidad del fruto. Cuando tiene una velocidad mayor a 20 km/h, causa daño a las hojas y se presentan roces de los frutos con las ramas, lo que provoca la formación de marcas o cicatrices, que disminuyen su calidad. El viento también disemina microorganismos o artrópodos plaga, que pueden reducir la producción y dañar la fruta y, por lo tanto, aminorar su valor comercial (figura 115).

En zonas de alta humedad relativa, el viento ejerce una tarea importante, al retirar del fruto la humedad residual proveniente de la lluvia o del rocío de la mañana. Sin embargo, debido al daño cosmético que ocasiona en la fruta, se debe evitar establecer los huertos en zonas con fuertes vientos, y se recomienda la utilización de barreras rompevientos.



Fotos: María Cristina García

Figura 7. Daños en frutos de lima ácida Tahití. a. Espina causando una herida a la fruta; b. Cicatrices ocasionadas por el roce con las hojas y las ramas; c. Heridas producidas por el roce, que favorecen la entrada de microorganismos y humedad.

Por otro lado, el déficit hídrico afecta la floración, aumenta la tasa de abscisión en flores y frutos, disminuye la producción e induce la maduración anticipada de los frutos. Además, influye en la formación de frutos pequeños y con bajo contenido de jugo (Dorado et al., 2015).

Para evitar el deterioro de la calidad de la lima ácida Tahití por estrés hídrico, se recomienda realizar aportes continuos de agua. Durante el llenado y la maduración, un déficit hídrico moderado puede ser conveniente para propiciar cambios internos en la calidad de la fruta, aumentando el contenido de sólidos solubles y algunos ácidos (Peng & Rabe, 1998).

A su vez, la humedad relativa baja está relacionada con un bajo contenido de aceite en la piel de la lima, y formas largas y ovaladas de los frutos (Lozano, 1996). En contraste, la humedad relativa alta propicia la presencia de hongos y se asocia con frutos de formas redondeadas, con corteza delgada y un color verde pálido. Además, en combinación con temperaturas altas, favorece el desarrollo de frutos de mayor tamaño (figura 116).



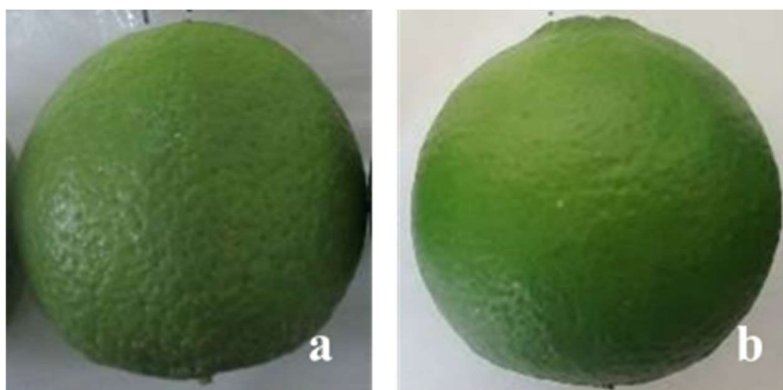
Fotos: María Cristina García

Figura 8. Efecto de la humedad relativa en la forma de los frutos de lima ácida Tahití. a. Forma ovalada causada por una humedad relativa baja; b. Forma esférica con degradación del color verde, ocasionadas por una humedad relativa alta.

Por otro lado, las características de los suelos también tienen efectos en la calidad del fruto, y están relacionados con los contenidos de humedad del suelo y el tipo de portainjerto utilizado. Por ejemplo, en suelos arcillosos, se producen frutos pequeños, de piel gruesa y rugosa, con un menor contenido de jugo y de sólidos solubles, que se catalogan de maduración tardía (figura 117a).

Sin embargo, tienen ventajas, como el hecho de que son más resistentes al daño mecánico causado por impactos, abrasión o cortadas, entre otros factores, que los hacen más fáciles de manipular y acondicionar (Quiroga, Hernández, Silva, & Orduz-Rodríguez, 2010).

Por otra parte, los suelos arenosos presentan condiciones que contribuyen a una mayor rapidez de maduración o precocidad. Así mismo, por lo general, los frutos producidos en estos suelos tienen tamaño y contenidos de jugo y de sólidos solubles mayores, pero una piel más delgada y lisa (figura 117b), que los hace más susceptibles a los daños. Esto exige tener más cuidado durante su cosecha, transporte y acondicionamiento (Quiroga et al., 2010).



Fotos: María Cristina García

Figura 9. Efecto de las características del suelo en la calidad de los frutos de lima ácida Tahití. a. Cáscara gruesa y rugosa; b. Cáscara lisa y fina.

Manejo cultural

Diversos estudios han reportado el efecto de las diferentes prácticas de manejo de los huertos en la calidad de la fruta de lima ácida Tahití. A continuación, se explican algunas de ellas.

La fertilización es quizá la práctica de mayor importancia en la producción de frutos de lima ácida Tahití de buena calidad, ya que, en contenidos apropiados, los fertilizantes tienen un efecto positivo en algunas características determinantes para el desarrollo de frutos con la calidad exigida por los diferentes mercados.

Entre estos fertilizantes se encuentra el nitrógeno (N). Cuando hay bajas concentraciones de este elemento, se retrasa la maduración, se afecta el rendimiento, y aumentan la susceptibilidad a enfermedades y la formación de frutos rajados. Del mismo modo, aunque favorecen el incremento del contenido de aceite, se reduce el contenido de ácido ascórbico (Lozano, 1996; Rodríguez, 2002; Yara, 2019c).

Por otra parte, su exceso conlleva la reducción del tamaño de los frutos y de su contenido de jugo, el aumento del espesor de la cáscara y de manchas en la piel (Tejacal, Lugo, & Valdez, 2013), y, en términos generales, un menor tiempo de

vida útil, aunque implica una acidez y un contenido de sólidos solubles totales (SST) mayores (Landaniya, 2008).

Con respecto al potasio (K), un bajo contenido conduce a la producción de frutos pequeños, con piel suave, fina y de buen color (Lado, Gambetta, & Zacarías, 2018); mientras que su exceso favorece el aumento del tamaño de los frutos y el contenido de jugo, pero retarda la maduración (Lozano, 1996).

La adición de calcio (Ca) a la planta contribuye al aumento en el tamaño de los frutos (Agustí, 2010; Figueroa et al., 2012; Palacios, 2005), ya que retarda la respiración celular y favorece el mantenimiento de la firmeza por más tiempo (Hussain, Meena, Dar, & Wani, 2012). En general, en muchas frutas el Ca ha sido asociado con una mayor resistencia al daño mecánico y, por ende, una vida útil más extensa.

En el caso del cobre (Cu), algunas investigaciones en tangerinas en India han mostrado que este elemento reduce la acidez, al aumentar la relación entre SST y acidez, pero puede retrasar la maduración de los frutos (Yara, 2019b). De acuerdo con estudios realizados en naranja dulce en Pakistán y en mandarina Dancy en India, el boro (B), el hierro (Fe), el manganeso (Mn) y el zinc (Zn) aumentan los SST, mientras que el molibdeno (Mo) los reduce.

El hierro también favorece el incremento de azúcares en los frutos, según ensayos realizados en naranja Washington Navel y mandarina Balady (Yara, 2019b); mientras que, de acuerdo con Lozano (1996), su escasez produce frutas pequeñas y endurecidas.

Estudios realizados en mandarina y naranja, citados por Yara (2019b), han mostrado que la disponibilidad de elementos menores, como B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn, favorece el contenido de ácido ascórbico. El déficit de fósforo (P) provoca la piel gruesa y la caída prematura de la fruta, mientras que su exceso acelera levemente la madurez.

En cuanto a la poda, se trata de una práctica que beneficia la cantidad y la calidad de los frutos de lima ácida Tahití. La poda de aclareo facilita la entrada de luz y la ventilación en el interior de la copa, que favorecen el color verde intenso y brillante de la cáscara de los frutos. Cuando no se realiza, se forman copas densas y cerradas, que aumentan la acumulación de humedad y fomentan el daño causado por hongos (figura 118).



Fotos: María Cristina García

Figura 10. Daños en frutos de lima ácida Tahití, causados principalmente por hongos (*Colletotrichum* spp.). a. Daño leve; b. Daño avanzado.

La poda depende de la forma de la copa, que se ve influenciada por las condiciones edafoclimáticas de la región donde están establecidos los huertos y por el tipo de portainjerto utilizado, como se expone en el capítulo VIII.

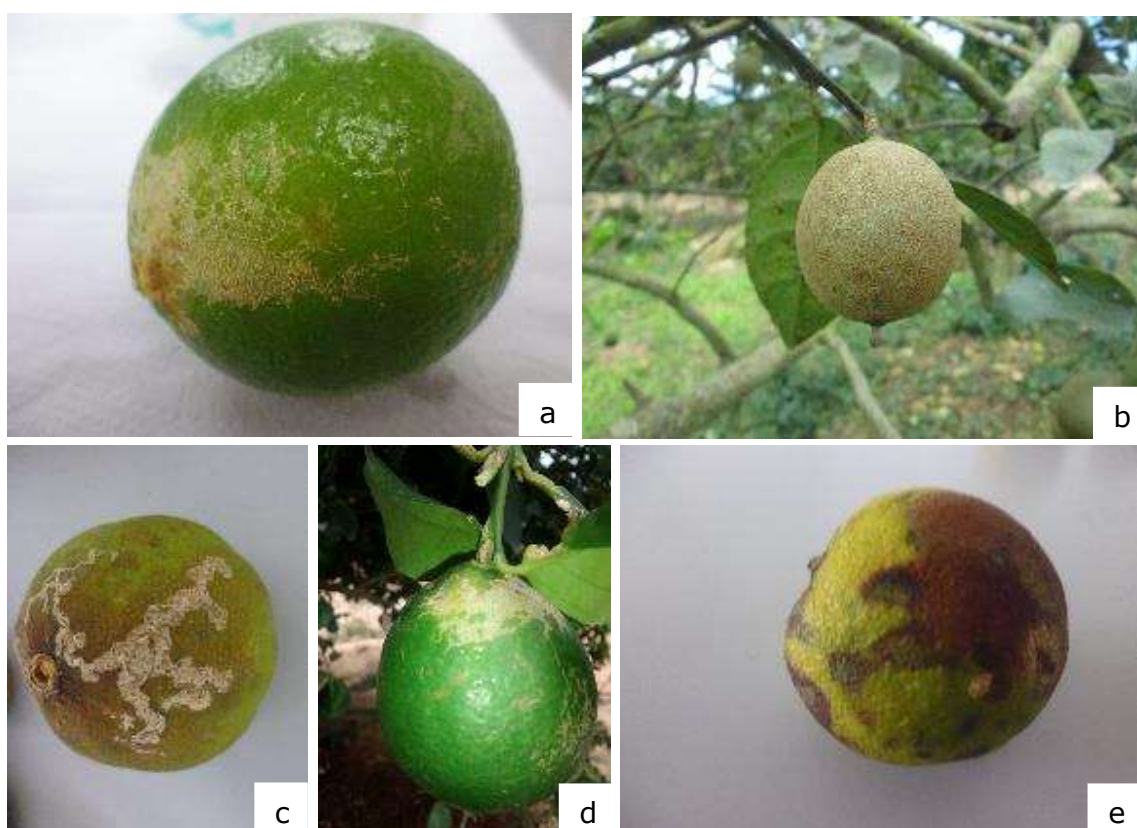
Manejo fitosanitario

Este aspecto es uno de los más importantes para obtener fruta de buena calidad, pues, si no se hace un control adecuado de los daños causados por agentes biológicos, puede haber grandes pérdidas económicas.

Los frutos de lima ácida Tahití son atacados por los ácaros blanco (*Polyphagotarsonemus latus*) y tostador (*Phyllocoptruta oleivora*), siendo el primero el de mayor impacto, ya que se presenta en los estados iniciales e intermedios de desarrollo del fruto, y puede llegar a afectar hasta el 52 % de la producción (Álvarez, 2017).

Esta especie también sufre enfermedades fungosas como la antracnosis (*Colletotrichum* spp), que se ve favorecida cuando el desarrollo de los frutos coincide con épocas de alta humedad relativa causada por precipitaciones o por un microclima creado por un exceso de follaje.

En la figura 119 se muestran algunos daños en frutos, ocasionados por agentes biológicos, que deterioran su apariencia y los descalifican para la exportación. En los capítulos X, XI y XII se plantean análisis más detallados de las diferentes plagas y enfermedades que afectan el cultivo y la calidad de la lima ácida Tahití.

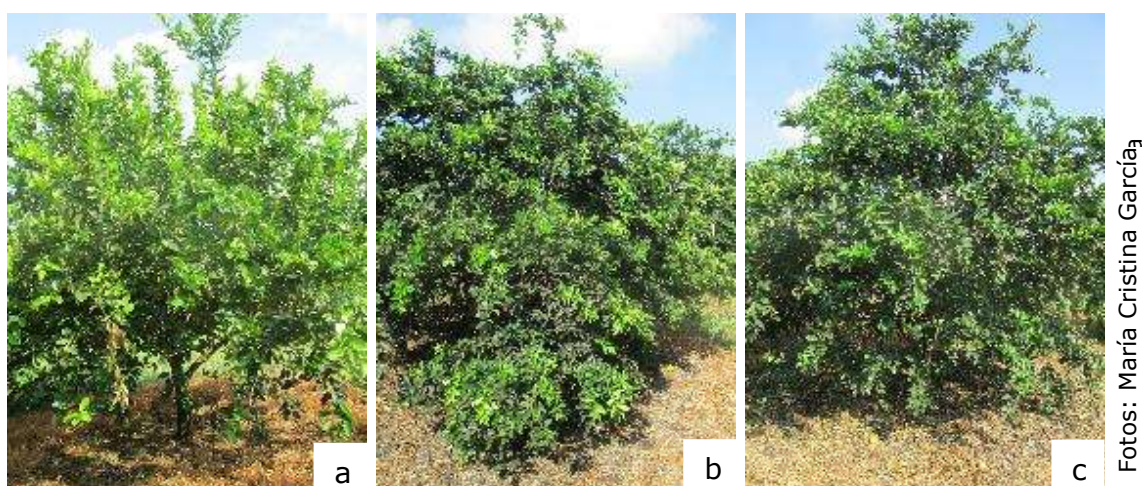


Fotos: María Cristina García

Figura 11. Pérdidas de lima ácida Tahití causadas por daños de ataques de agentes biológicos. a. Daño por ácaro blanco; b. Daño por ácaro tostador; c. Daño por ácaro minador; d. Daño por trips; e. Pudrición marrón ocasionada por diferentes hongos.

Algunos estudios indican que los portainjertos o patrones ejercen mayor influencia en la arquitectura del árbol que en las características de calidad del fruto (Curti-Díaz, Hernández, Xochitl, & Loredó-Salazar, 2012; García, Botina et al., 2016; Milla et al., 2009). Se busca que el portainjerto utilizado induzca un vigor superior, y mayores tolerancia o resistencia a algunas enfermedades, y que contribuya a la calidad del fruto.

Entre los portainjertos más comunes utilizados en Colombia para la producción de lima ácida Tahití se encuentran Citrumelo CPB 4475, Citrange Carrizo, mandarina Cleopatra, Kryder 15-3, Sunky × English y limón Volkameriana (figura 120).



Fotos: María Cristina García

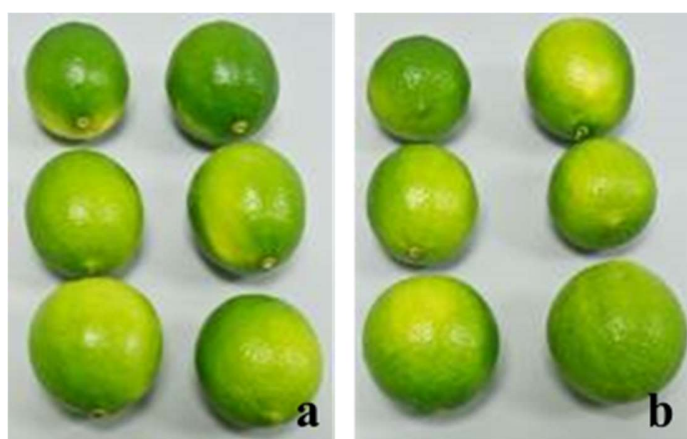
Figura 12. Diferencias de las arquitecturas de los árboles de lima ácida Tahití según sus portainjertos. a. Cleopatra; b. Citrange Carrizo; c. Sunky × English.

En estudios realizados en Colombia, en frutos de lima ácida Tahití provenientes de seis portainjertos y de tres regiones del país, no se encontraron diferencias significativas entre algunos de los parámetros de calidad de la lima causadas por los portainjertos (figura 121), pero sí relacionadas con las regiones productoras evaluadas (García, Botina et al., 2016).

En el municipio de Lebrija, Santander (Colombia), se encontraron diferencias en las características físicas, posiblemente originadas por el portainjerto. La lima ácida Tahití injertada sobre Cleopatra mostró un color verde oscuro, apropiado para exportación, pero el alto porte del árbol y su densa copa dificultan las tareas de cosecha, en las que se pueden ocasionar daños mecánicos que demeritan su calidad rápidamente y reducen su valor.

Sobre los portainjertos Kryder 15-3, Citrange Carrizo y Volkameriana en el mismo municipio, los frutos de lima ácida Tahití presentan un buen desarrollo y calidad de fruta, entendiendo esta última como un buen balance de sus características de color, tamaño, ausencia de daños, firmeza, contenido de jugo, SST, acidez y pH.

En El Espinal (CI Nataima), los portainjertos Kryder y Citrumelo CPB 4475 mostraron los mejores resultados; mientras que en Villavicencio (CI La Libertad), Volkameriana, Citrumelo CPB 4475 y Cleopatra presentaron buenos desarrollo y calidad de fruta (García, Botina et al., 2016).



Fotos: María Cristina García

Figura 13. Frutos de lima ácida Tahití proveniente de El Espinal, sobre dos portainjertos diferentes. a. Citrumelo CPB 4475; b. Volkameriana.

Las condiciones edafoclimáticas ejercen un mayor efecto en los parámetros de calidad que el portainjerto, como se observa en la figura 121. El color de la lima ácida Tahití proveniente de El Espinal, sobre el portainjerto Kryder, es un color más claro que el de aquella producida en Lebrija (figura 122a y 122b).

Un comportamiento similar ocurre con la lima ácida Tahití sobre el portainjerto Volkameriana: la cultivada en El Espinal tiene un color más claro que el de la proveniente de Lebrija (122c y 122d) (García, Botina et al., 2016).

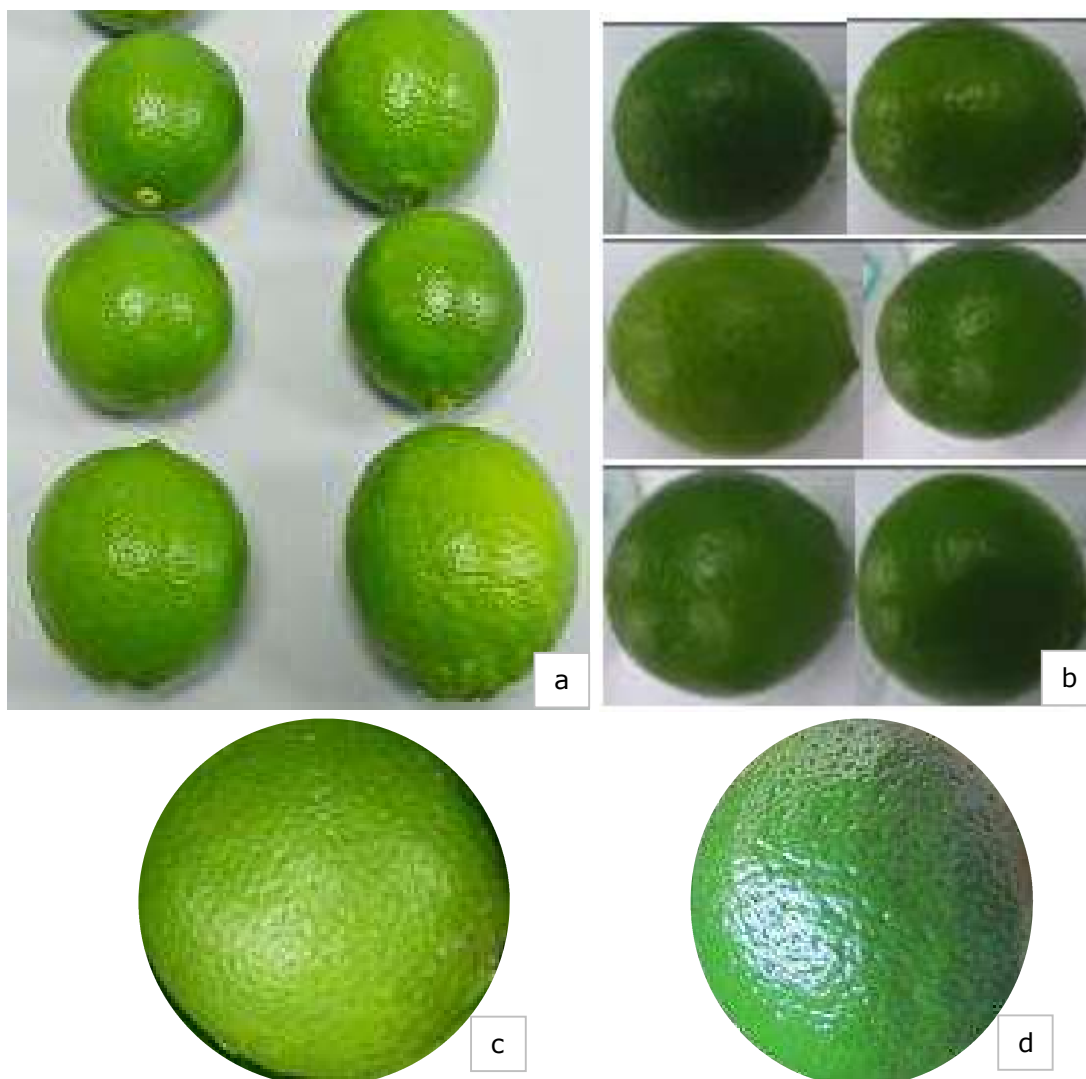


Figura 14. Efecto de las condiciones edafoclimáticas en el color del fruto de lima ácida Tahití en dos portainjertos y proveniente dos municipios. a. Kryder en El Espinal; b. Kryder en Lebrija; c. Volkameriana en El Espinal; d. Volkameriana en Lebrija.

Fotos: María Cristina García

La arquitectura de los árboles se ve reflejada principalmente en su altura, diámetro y volumen de copa (figura 123a). Estos parámetros pueden influir indirectamente en la calidad de los frutos, y pocas veces se tienen en cuenta cuando se evalúan los motivos de las pérdidas en cosecha y poscosecha (Curti-Díaz et al., 2012; Milla et al., 2009). Los árboles de porte bajo facilitan la cosecha y reducen las causas de daño durante estas etapas (figura 123b).



Fotos: María Cristina García

Figura 15. Portainjertos de lima ácida Tahití con arquitecturas diferentes. a. Árboles altos con copas de gran volumen; b. Árboles bajos con pequeño volumen de copa.

Cuando los árboles son muy altos, se utilizan varas largas con un gancho o cuchilla en el extremo para cosechar los frutos. Si no se tiene una bolsa atada al gancho para recibir la fruta, cae al suelo (figura 124), lo que le ocasiona daños mecánicos, rompimiento de las glándulas oleíferas, rápido detrimento de la calidad, reducción de la vida útil y pérdida de valor comercial.



Fotos: María Cristina García

Figura 16. Frutos de lima ácida Tahití y fuentes de contaminación en campo. a. Contacto directo con el suelo húmedo; b. Contacto con material orgánico; c. Frutos con daños mecánicos; d. Frutos abandonados en el suelo, que se convierten en fuente de contaminación y dispersión de enfermedades.

Cuando las copas son muy densas y frondosas (alto volumen), y cerradas (diámetro pequeño) limitan la entrada de luz. El efecto de sombra que producen las ramas y las hojas afecta el color de los frutos, causando zonas claras o pálidas, que ocasionan el castigo en el precio o el rechazo en mercados de exportación, cuando superan el 25 % de la superficie del fruto. Este tipo de daño también es provocado por racimos que tienen un gran número de frutos (figuras 125a, 125b y 125c).



Fotos: María Cristina
García; Mauricio
Martínez

Figura 17. Efecto de las copas densas en la apariencia externa de frutos de lima ácida Tahití. a. Color pálido generalizado; b. Manchas por golpe de hoja o de sombra; c. Manchas ocasionadas por racimos con un gran número de frutos.

Las copas densas también favorecen el daño, por el roce del fruto con las ramas o con las espinas de la planta, y dificultan la inspección de los frutos, por lo cual es posible que se cosechen aquellos que no han alcanzado el grado de madurez adecuado o que presentan algún tipo de daño (figura 126).



Fotos: María Cristina
García

Figura 18. Daños mecánicos en frutos de lima ácida Tahití por diversas causas. a. Cercanía de espinas al fruto; b. Daño ocasionado por las ramas o las espinas; c. Fruto con un alto porcentaje de amarillamiento o ausencia de verde en su superficie.

En resumen, de manera indirecta, el patrón ejerce influencia en la calidad del fruto en factores relacionados con la apariencia, más que en sus características fisicoquímicas. Esta influencia se debe especialmente a la arquitectura que le otorga al árbol. En estudios realizados por García, Botina et al. (2016), se encontró que el portainjerto Citrumelo Swingle induce la formación de plantas de porte alto y con un mayor volumen de copa.

Por otro lado, aunque Volkameriana es posiblemente el portainjerto más utilizado en Colombia para lima ácida Tahití, debido a su precocidad y producción, la calidad de fruta que desarrolla no es la mejor, por su color verde pálido. Por su parte, Sunky × English induce un porte medio y buena producción, pero con un tamaño de fruto pequeño.

A su vez, Citrange Carrizo tiene un rápido desarrollo, uniformidad en el tamaño de los frutos y acidez. En lo que respecta a Cleopatra, induce porte y copa altos, un excelente color, pero una baja producción. Finalmente, Kryder es de porte medio, con una producción media y, aunque sus frutos no tienen la suficiente calidad para exportación, ofrece los más uniformes en calidad, tanto en El Espinal como en Lebrija.

Recomendaciones para el alistamiento de la cosecha

Una vez que se han determinado los requisitos del mercado, se debe visitar el lote para estimar la cantidad de frutos de lima ácida Tahití que cumplen con esas condiciones y, con base en esa información, planificar la cosecha.

El objetivo de esta planificación es reducir los riesgos de daño de la fruta y aumentar su vida útil. Después de establecer el contacto con el mercado, se pueden definir el volumen, las condiciones de calidad (madurez, tamaño, apariencia y sanidad, entre otras) y la presentación (capacidad y tipo de material de empaque) que se requieren. Con estos datos se visita el lote, para estimar el volumen de fruta que cumple los requisitos del mercado.

Más adelante, teniendo en cuenta la distancia del sitio de venta, la hora de entrega, el estado de las vías y la disponibilidad de transporte, se calcula la cantidad de trabajadores requeridos para la cosecha.

Previamente, se debe disponer de la cantidad de implementos, herramientas e insumos necesarios, y acondicionar las instalaciones de acopio como sitios temporales en el lote y puntos de despacho, para lograr una cosecha eficiente.

Alistamiento de personal

Luego de determinar la cantidad de personal necesario, se le instruye sobre las características de la fruta que se va a cosechar, la manera o metodología para hacerlo y la importancia de seguir las recomendaciones de las buenas prácticas agrícolas o de manufactura (MINFCL et al., 2004).

Alistamiento de implementos de cosecha

Los trabajadores deben usar guantes, para protegerse de las espinas del árbol, gafas de seguridad, para evitar el contacto de las ramas con los ojos, y gorra, para impedir la contaminación de la fruta con cabello o sudor, y para protegerse del sol (figura 127).



Figura 19. Implementos de protección personal para la cosecha de lima ácida Tahití. a. Botas; b. Guantes; c. Gorra.

Alistamiento de herramientas

Entre las herramientas requeridas se encuentran las tijeras, que no son de uso común en la cosecha de lima en Colombia, pero la experiencia de otros países como España demuestra las ventajas de su uso.

Deben estar en buen estado y desinfectarse periódicamente a lo largo de la cosecha, con el fin de evitar la dispersión de enfermedades, en caso de que se presenten. Con este objetivo, se puede alistar un recipiente con una solución a base de yodo, hipoclorito o amonio cuaternario, para su uso continuo durante la cosecha (figura 128).



Figura 20. Alistamiento de herramientas de cosecha. a. Tijeras ergonómicas para cosecha de cítricos; b. Insumos para la desinfección de tijeras.

Fuente: Pfenagri (s.f.) y Croper (s.f.)

La selección de las tijeras adecuadas para la cosecha permite reducir daños mecánicos en las frutas. Como se observa en la figura 129a, las tijeras de punta pueden generar daños o pinchazos en la fruta, que favorecen la entrada de microorganismos patógenos. En el mercado se consiguen tijeras especialmente diseñadas para esta tarea (figura 129b), con la punta redondeada y la cuchilla curvada, lo cual evita pinchar la fruta, además de cuchillas de acero al carbono, para mantener el filo por un mayor tiempo.



Foto: María Cristina García

Figura 21. Herramientas utilizadas en la cosecha de cítricos. a. Tijeras de punta fina (inadecuadas); b. Tijeras con punta redondeada.

Fuente: Pfenagri. (s.f.)

Alistamiento de recipientes de cosecha

Otro elemento importante para garantizar la calidad de la lima ácida Tahití recolectada es el recipiente de cosecha. Se recomienda el uso de canastillas plásticas, porque protegen la fruta del daño mecánico, son fáciles de apilar y transportar (figura 130a), permiten la ventilación, y tienen una capacidad máxima de 20 a 22 kg, que, dada la profundidad de estas cajas, la lima ácida Tahití puede soportar sin sufrir daños por compresión (figura 130b).

Las canastillas se deben lavar y, preferiblemente, desinfectar con una solución a base de hipoclorito, para evitar la contaminación de la fruta con partículas de suelo o estructuras reproductivas de hongos que hayan podido quedar de cosechas anteriores o que se encuentren como contaminantes en el lugar de almacenamiento (figura 130c).

Los recipientes deben estar en perfecto estado, completos y limpios, para evitar grietas que puedan ocasionar heridas a los frutos (figura 130d y 130e). Cuando todas las herramientas y elementos de trabajo están listos, los operarios se desplazan a los lotes que se van a cosechar (figura 130f).



Fotos: María Cristina García

Figura 22. Alistamiento de canastillas para la cosecha de lima ácida Tahití. a. Cantidad necesaria; b. Canastilla limpia y desinfectada; c. Canastilla sucia; d. Canastilla con grietas; e. Canastilla rota; f. Transporte de canastillas al punto de acopio en el lote.

Alistamiento del lote

Se debe asegurar que el lote se encuentre libre de obstáculos que puedan causar caídas o demoras en la recolección, como recipientes de agroquímicos, canecas, herramientas o mangueras, entre otros. El manejo de arvenses también es importante en la eficiencia del proceso de cosecha, pues las arvenses altas hacen más difícil el desplazamiento a través del lote, ocasionando demoras en esta labor (figura 131).

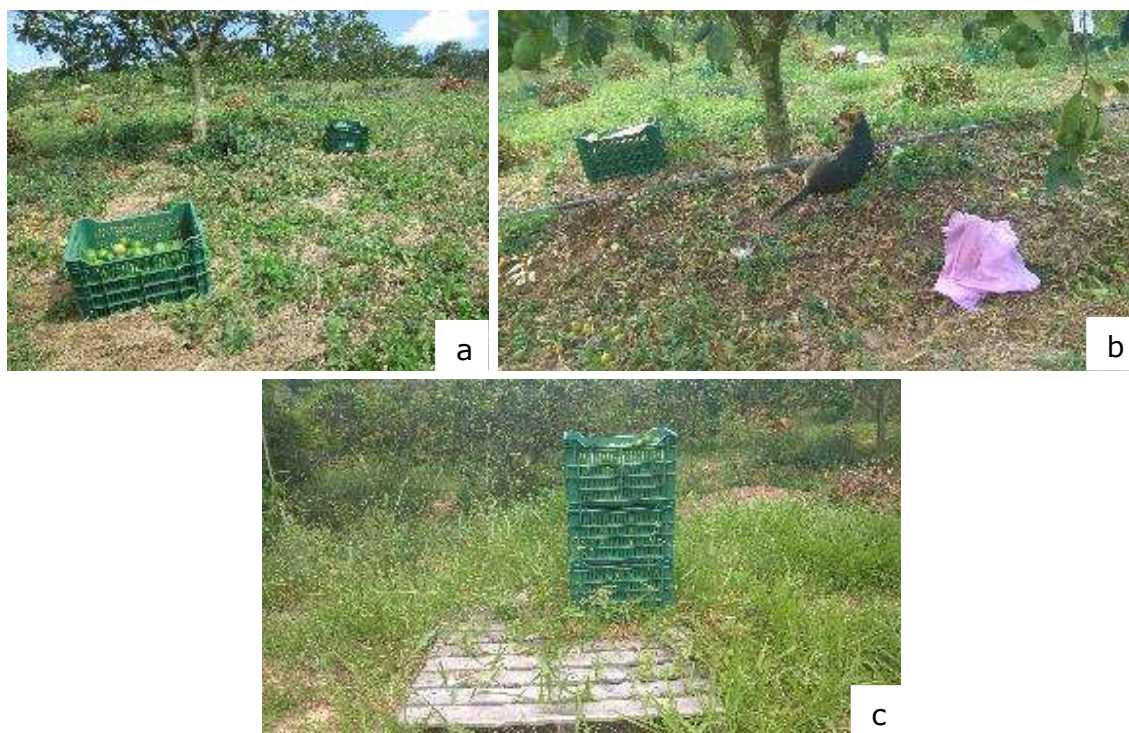


Fotos: María Cristina García

Figura 23. Lotes de lima ácida Tahití. a. Con arvenses altas; b. Limpio, sin obstáculos y con control de arvenses.

Alistamiento de los puntos de almacenamiento

De acuerdo con el tamaño del huerto, es necesario tener varios puntos de acopio temporal y puntos de mayor capacidad de acopio en la finca. Deben contar con piso o estibas, con el fin de evitar que la fruta tenga contacto con el suelo y las fuentes de contaminación; techo, para protegerla de los rayos directos del sol y la lluvia, y paredes, para aislarla y evitar la entrada de animales. En la figura 132 se observan diferentes condiciones de acopio en la finca, que afectan la sanidad y la calidad de la fruta cosechada.



Fotos: María Cristina García

Figura 24. Puntos de acopio y fuentes de contaminación de lima ácida Tahití en campo. a. Exposición directa de la fruta a condiciones de sol o lluvia; b. Presencia de animales en puntos temporales de acopio; c. Fruta recolectada en canastilla, en contacto directo con el suelo y malezas.

Alistamiento del transporte

Es común que para el transporte de la fruta hacia el mercado se utilicen vehículos que no tienen las condiciones adecuadas para su protección (figura 133). Con el fin de evitar tiempos prolongados de exposición de la fruta al sol, o a otras condiciones climáticas que pueden deteriorar el producto, se recomienda acordar con anticipación la hora de recogida y entrega de la fruta.

También resulta indispensable usar estibas, y evitar el transporte a granel o en conjunto con otras frutas que liberen etileno y aceleren la aparición del color amarillo, condición que reduce su valor comercial.



Fotos: María Cristina García

Figura 25. Vehículos utilizados comúnmente para el transporte de la fruta hacia el mercado. a. Frutos expuestos a los elementos durante el transporte; b. Frutos expuestos antes de ser transportados.

Cosecha

El manejo adecuado de la lima contribuye a reducir al máximo las causas de daño durante la cosecha. Aunque existen diferentes factores precosecha que demeritan la calidad de la fruta, durante la cosecha estos daños se pueden multiplicar por un manejo incorrecto. Son básicamente de tipo mecánico, por prácticas o herramientas inapropiadas, que ocasionan daños como cortes, magulladuras, rajaduras (figura 134) o pérdida del disco basal, o por la presencia de pedúnculos muy largos, que producen daños a las frutas contiguas.



Fotos: María Cristina García

Figura 26. Daños más comunes en frutos de lima ácida Tahití, que provocan rechazo en el mercado. a. Por pinchazos; b. Por granizo; c. Por magulladuras; d. Pudrición por caída en el suelo; e. Lesiones en la corteza causadas por insectos y ácaros.

Recomendaciones

A continuación, se listan algunas recomendaciones que contribuyen al mantenimiento de la calidad de la fruta y a prolongar su vida útil.

Los frutos se deben inspeccionar, con el fin de asegurarse de que cumplen con los estándares mínimos para la comercialización, revisando la sanidad, que no presenten cortes o cicatrices, daños por plagas y enfermedades o mecánicos, o defectos en la piel, como el golpe de sol, y que tengan la forma, el color y los aromas característicos.

Esta operación se conoce como selección, y busca evitar que se mezcle fruta en buen estado con la que tiene daños, para reducir el riesgo de que se deteriore todo el lote de fruta cosechada. Dada la importancia de esta actividad, en los centros de acondicionamiento se acostumbra realizar una segunda inspección.

Por otro lado, la práctica de cosecha más utilizada para remover la lima de la planta es la flexión del pedúnculo o rabillo (figura 135). Sin embargo, puede provocar el desgarre de la rama si la fruta aún no se encuentra en su estado de madurez óptimo para la cosecha o, en muchas ocasiones, se puede retirar el disco basal de los frutos (o punto de unión del pedúnculo con el fruto), lo que facilita la entrada de plagas y enfermedades, y causa el deterioro y pérdida de los frutos.



Fotos: María Cristina García

Figura 27. Cosecha de la lima ácida Tahití. a. Con tijera; b. Sin tijera.

El uso de las tijeras permite cosechar la lima dejando pedúnculos muy cortos y uniformes, que evitan que se deteriore su presentación, así como el daño a los demás frutos, pero se requiere una serie de cuidados, como los siguientes:

- Desinfectarlas periódicamente, para evitar la propagación de enfermedades, por lo menos al finalizar la cosecha de cada árbol.
- Utilizar tijeras adecuadas, sin puntas que puedan causar punzadas u otro tipo de daños mecánicos a las limas contiguas.
- Mantenerlas bien afiladas.

Durante la cosecha se debe garantizar que la fruta mantenga el disco basal (cáliz y pedúnculo) (figura 136a), pues, si se retira, puede ser el sitio de ingreso de hongos y plagas que inician su deterioro (Curti-Díaz, Loredó-Salazar, Díaz-Zorrilla, Sandoval-Rincón, & Hernández, 2000) (figura 136b).



Fotos: María Cristina García

Figura 28. Lima ácida Tahití cosechada. a. Con disco basal y pedúnculo corto; b. Sin disco basal.

Es indispensable que la lima cosechada esté libre de residuos vegetales u otros materiales extraños que puedan dispersar enfermedades, o esconder daños por agentes biológicos o mecánicos (figura 137).



Foto: María Cristina García

Figura 29. Frutos de lima ácida Tahití con residuos de cosecha, que pueden convertirse en focos de contaminación.

La presencia de pedúnculos largos (figura 138), es una característica común en la cosecha de limas, pero deben ser eliminados, pues causan daño mecánico a los frutos contiguos, que se convierte en una puerta de entrada a enfermedades.



Fotos: María Cristina García

Figura 30. Frutos de lima ácida Tahití cosechados con pedúnculos largos, que causan heridas a otros frutos.

Por otro lado, es necesario considerar el tiempo de carencia de los insumos agrícolas, pues recoger frutos con residuos de agroquímicos pone en riesgo la salud de los consumidores (figura 139).



Fotos: María Cristina García

Figura 31. Frutos de lima ácida Tahití cosechados con residuos de agroquímicos, que no deben ser comercializados.

La fruta no debe ser arrojada a la canastilla, sino puesta en ella, para evitar impactos que posteriormente faciliten el desarrollo de enfermedades (figura 140).



Foto: María Cristina García

Figura 32. Daños mecánicos por impacto en frutos de lima ácida Tahití arrojados a la canastilla en el momento de la cosecha.

La lima no se debe cosechar húmeda (figura 141), sin importar si la humedad proviene del rocío de la mañana o de la lluvia, dado que, durante la cosecha, puede favorecer el desarrollo de hongos y provocar oscurecimiento o manchas en la piel, que causan su rechazo en el mercado.



Foto: María Cristina García

Figura 33. Frutos de lima ácida Tahití húmedos a causa de la lluvia, que no deben ser cosechados.

Cuando se cosecha con varas, es imprescindible evitar el contacto de la fruta con el suelo, porque el golpe favorece la ruptura de las células (oleocelosis) (figura 142a), la contaminación (figura 142b) y la pudrición del fruto en etapas posteriores (figura 142c).



Fotos: María Cristina García

Figura 34. Daños en frutos de lima ácida Tahití causados por impactos, que facilitan el desarrollo de enfermedades. a. Oleocelosis; b. Contaminación con el suelo; c. Pudrición del fruto.

La cosecha debe hacerse en las horas más frescas del día. Es ideal que no se lleve a cabo entre las once de la mañana y las dos de la tarde, debido a la alta temperatura que se presenta en ese periodo en las regiones productoras del país, que lleva a un rápido deterioro de la calidad y a una reducción en la vida útil.

Sin embargo, por la alta producción en los lotes y la escasez de trabajadores para la cosecha, normalmente esta práctica se extiende a lo largo del día. Por esta razón, se recomienda disponer de sitios adecuados de acopio en los lotes (figura 143).

Si no se dispone de piso de cemento, o de gravilla y estibas, se pueden destinar algunas canastillas como base, sobre las cuales se apilen las demás, con la fruta recolectada. Si el lugar no tiene paredes, se pueden utilizar polisombra o malla verde, como una alternativa para mantener la fruta alejada de los animales de la finca.



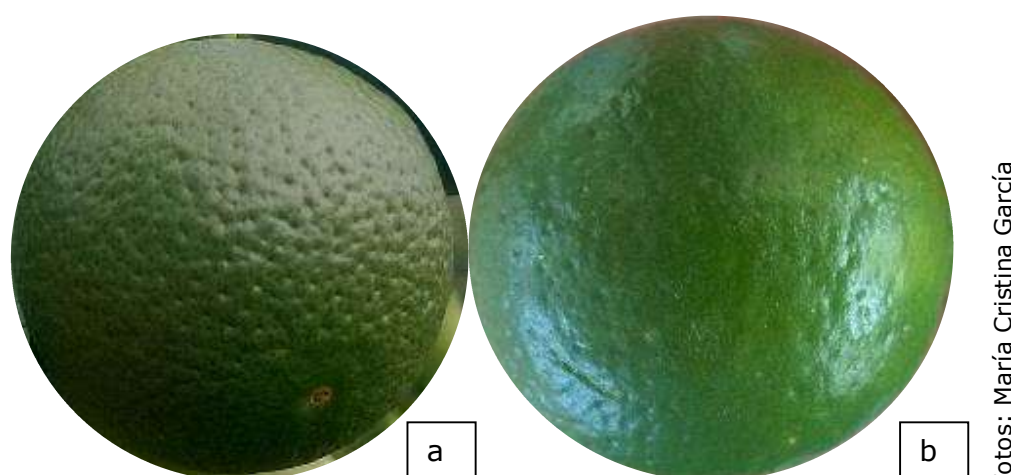
Fotos: María Cristina García

Figura 35. Puntos de acopio de fruta encontrados en las fincas. a. Sobre estibas y bajo techo; b. Con paredes y piso, bajo techo.

La fruta debe ser cosechada en un estado de madurez cercano al requerido por el mercado, con el fin de evitar rechazos o la disminución del precio. Si está dirigida al mercado nacional, puede estar cerca al estado de madurez 4, según la NTC 4087 (ICONTEC, 1997), para lograr un mayor tiempo de vida útil con un buen contenido de jugo.

Por otro lado, si está destinada al mercado externo, la fruta puede ser recogida en los grados de madurez entre 0 y 1, estados en los que el color verde es intenso, la piel no es completamente lisa, aún conserva algo de rugosidad, y es lo suficientemente gruesa para conferir mayor resistencia mecánica y soportar mejor la manipulación (figura 144). Además, en este estado, el alto contenido de acidez la protege del desarrollo de enfermedades.

En el mercado europeo se prefiere un color verde oscuro, mientras que el de Estados Unidos acepta limas de color verde intenso, aunque no necesariamente oscuro (figura 144).



Fotos: María Cristina García

Figura 36. Color y características de la lima ácida Tahití destinada a mercados internacionales. a. Europa; b. Estados Unidos.

En cuanto al calibre, en el pasado en el mercado de Estados Unidos, los frutos de la caja de 18 kg debían tener un calibre mayor a 38 mm para comercializarse. Sin embargo, desde hace algunos años se está manejando un precio diferencial por calibres. Por su parte, México exige que las limas que se recolecten para enviar al mercado de exportación tengan un diámetro superior a los 47 mm (Rodríguez, 2002).

Es importante resaltar que existe un desorden fisiológico denominado pudrición estilar, la cual se manifiesta en poscosecha, cuando los frutos están maduros o cerca de la maduración. En algunos países se reportan pérdidas de hasta el 40 % por esa causa (Rodríguez, 2002). Esta pudrición se presenta en el eje central, y se refleja en su oscurecimiento, que se extiende rápidamente hacia el resto de la lima.

Finalmente, es necesario que la canastilla con la fruta cosechada no entre en contacto con el suelo; debe disponerse sobre estibas, para evitar la contaminación con microorganismos presentes en el suelo. Cuando las canastillas se apilan, la suciedad que se ha adherido a las que se encuentran en los niveles superiores cae en las inferiores y contamina la fruta.

Para evitar esta situación, el trabajador debe cargar la canastilla todo el tiempo (figura 145ab), o puede utilizar la carretilla diseñada para el transporte de la fruta (figura 145c), que puede soportar hasta tres canastillas de 20 kg cada una. Además de facilitar y reducir el esfuerzo del trabajador, mantiene la fruta protegida del contacto con el suelo.



Fotos: María Cristina García

Figura 37. Manejo de la canastilla durante la cosecha. a. Manejo actual; b. Transporte en el lote; c. Propuesta para la cosecha y el transporte.

Manejo poscosecha

Como su nombre lo indica, esta fase inicia una vez que se ha cosechado la fruta, y se extiende hasta la entrega al consumidor final. Sus operaciones tienen como fin proteger la fruta, darle una mejor presentación y conferirle un mayor valor, lo que generalmente se conoce como acondicionamiento.

Las etapas más comunes en el proceso de acondicionamiento de cítricos son selección, limpieza, desinfección, secado, encerado, clasificación y empaque. Posteriormente, la fruta es paletizada, almacenada y transportada a los mercados de destino o a los puertos, para su embarque.

En estas actividades participan diferentes actores: el productor, responsable del manejo de la fruta antes de que salga de la finca, las empresas que la acondicionan y empaacan, los transportadores, los exportadores y los comerciantes mayoristas y minoristas, y cada uno de ellos debe garantizar el manejo adecuado para contribuir con sus objetivos.

La poscosecha también requiere una planeación, con el fin de asegurar que no habrá demoras, que la fruta no estará expuesta a los diferentes factores de daño, que los trabajadores estén capacitados para manejar la fruta correctamente, que se dispone de los recipientes y los lugares adecuados para el acopio, y que el transporte será el adecuado y llegará a tiempo.

En la mayoría de los casos, se pueden identificar dos momentos en la poscosecha: el primero se inicia en la finca y el segundo ocurre cuando el producto llega al centro de acondicionamiento. A continuación, se exponen algunas recomendaciones para un desarrollo adecuado de cada una de las operaciones que conforman esta etapa, con el fin de mantener la calidad de la fruta por mayor tiempo.

Transporte al punto de acondicionamiento

Una vez que se ha cosechado la fruta, se transporta al punto de acondicionamiento, donde se realizan las demás operaciones que contribuyen a mantener la calidad y extender su vida útil. El transporte de la lima ácida Tahití debe hacerse en vehículos limpios, donde quede bien apilada y sin riesgos de caída, con una adecuada ventilación, pero protegida del sol y de la lluvia.

Es necesario evitar transportarla con otra clase de elementos, como agroquímicos o personal, que puedan contaminarla, o con otro tipo de frutas que sean incompatibles, como el banano, que emiten etileno y aceleran el cambio de color en la lima, tornándola amarilla (Jamett, 2010). El transporte debe estar programado, para evitar la exposición de la fruta a condiciones adversas por tiempos prolongados.

Recepción

Cuando la fruta llega al centro de acondicionamiento, se debe registrar el peso, e identificar la finca o el lote de la cual proviene, así como la hora de llegada, con el fin de mantener un historial de la fruta o generar la trazabilidad de la producción, para identificar el origen de algún problema, en caso de que se presente. Si el registro incluye el trabajador que recolectó la canastilla, se pueden tener mejores estadísticas sobre la eficiencia de los trabajadores y los posibles puntos que se deben mejorar.

Además, es recomendable llevar el registro de la producción, para evaluar el comportamiento del lote y los elementos necesarios para un análisis de costos que permita determinar la rentabilidad del cultivo, así como los cuellos de botella en el manejo poscosecha de la fruta.

Reposo o estabilización

En la práctica, se recomienda cosechar la fruta y mantenerla en lugares frescos, aproximadamente a 18 °C, mientras se estabiliza después del estrés sufrido por ser retirada de la planta. No se aconseja llevarla directamente a refrigeración ni al proceso de acondicionamiento, porque puede desarrollar daños en la piel, como manchas o pardeamiento (Saucedo, 2015) (figura 146b).

Este tiempo de reposo puede ser de entre 12 y 18 horas, dependiendo de la temperatura del día de la cosecha y el tiempo que permaneció expuesta directamente a los rayos solares. Entre mayores hayan sido la temperatura durante la recolección o el tiempo de exposición, la fruta requiere más tiempo para estabilizarse.



Fotos: María Cristina García

Figura 38. Acondicionamiento de lima ácida Tahití. a. Inicio del proceso; b. Daños causados a la fruta cuando no se respeta el tiempo de reposo antes de iniciar el acondicionamiento.

Selección

En esta etapa del acondicionamiento se hace una nueva selección de la fruta, descartando toda la que haya podido pasar en la inspección que se hace en el momento de la cosecha, pero que no cumpla con los estándares mínimos requeridos (figura 147).

En esta operación es necesario retirar toda la fruta que presente algún tipo de daño, especialmente el causado por hongos que puedan dispersarse al resto de las limas que se van a comercializar. También se deben excluir frutos con manchas blancas o amarillas, o con daños ocasionados por los roces de ramas u hojas. El grado de tolerancia a otro tipo de daños es establecido por el comprador, o de común acuerdo con el productor.

Sin embargo, las normas técnicas, como la NTC 4087 (ICONTEC, 1997), incluyen un grado de tolerancia para cada calidad de fruta, y por supuesto son más exigentes para la categoría extra, en la cual se admite un máximo del 5 % de daños leves (sombra, cicatrices de daños mecánicos), mientras que, para la primera calidad, se tolera hasta el 10 %. Todas las limas deben cumplir los requisitos mínimos dispuestos en la norma técnica.



Fotos: María Cristina García

Figura 39. Proceso de selección de frutos de lima ácida Tahití para exportación. a. Aceptados; b. Rechazados.

Limpieza

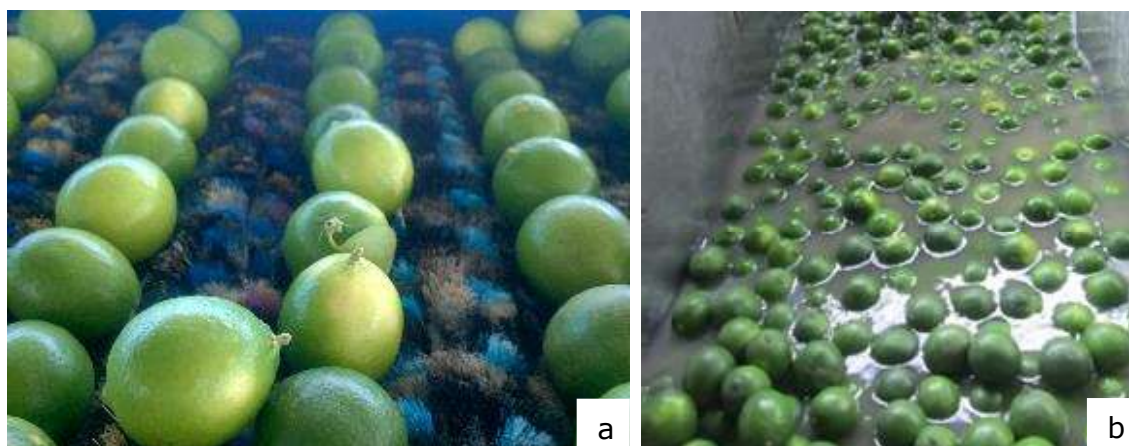
Esta práctica tiene como fin retirar la suciedad que pueda venir adherida a la lima, mejorar su presentación y aumentar la eficiencia del proceso de desinfección. En esta operación se remueven los residuos de cosecha adheridos a la fruta (figura 148).



Foto: María Cristina García

Figura 40. Remoción de residuos de cosecha en frutos de lima ácida Tahití.

Posteriormente, la lima se puede someter a un lavado con agua, ya sea a presión o por inmersión (figura 149a). Cuando hay un exceso de suciedad, es recomendable usar detergente, para asegurar su remoción y no reducir la eficacia de los desinfectantes que se aplican más adelante. También se pueden utilizar rodillos recubiertos con cepillos de *nylon* que, además de transportar la lima, pueden retirar la suciedad (figura 149b).



Fotos: María Cristina García

Figura 41. Métodos de limpieza de frutos de lima ácida Tahití. a. Húmedo, por inmersión en tanques de agua; b. Seco, con el uso de rodillos recubiertos con cerdas de nylon.

Desinfección

Después de la limpieza, la fruta pasa a otra sección similar, que dispone de rodillos recubiertos con cepillos y agua a presión, con un desinfectante que puede ser hipoclorito de sodio, tiabendazol, ortofenilfenol o imazalil (MINFCL et al., 2004) (figura 150), u otros productos con ingredientes activos registrados por el ICA.

Sin embargo, existen otros, aprobados en España y la Unión Europea para el tratamiento de cítricos. Entre ellos se encuentran el propiconazol, el cual ha mostrado efectividad contra la podredumbre amarga y las podredumbres causadas por *Penicillium* spp. y *Rhizopus* spp., que son las más comunes en la poscosecha de cítricos (McKay, Förster, & Adaskaveg, 2012).



Foto: María Cristina García

Figura 42. Desinfección de frutos de lima ácida Tahití con solución desinfectante a presión.

Secado

Cuando se han completado los procesos de lavado y desinfección, la lima es sometida a corrientes de aire forzado, con ayuda de ventiladores, para retirar la humedad superficial residual. Esta actividad es clave, ya que, como se mencionó anteriormente, la humedad crea ambientes favorables para el desarrollo de hongos (figura 151), reduce la homogeneidad y la adherencia de la cera, y disminuye la actividad de los desinfectantes, que por lo general se aplican durante el encerado.



Foto: María Cristina García

Figura 43. Desarrollo de hongos en poscosecha, favorecido por la presencia de humedad superficial.

Encerado y secado

Después de la desinfección y secado, la fruta se encera, con el fin de evitar la deshidratación, y que recobre el brillo natural que pierde durante las operaciones de lavado y desinfección. En este momento se puede adicionar algún fungicida, para protegerla de enfermedades poscosecha y conferirle una mayor vida útil.

En esta operación es muy importante que la cera quede aplicada de manera uniforme, y que cubra toda la superficie de la fruta en capas homogéneas (figura 152). Existen diferentes tipos de cera, desde las naturales, como la de abejas o la carnauba, resinas como la colofonia, y sintéticas como el polietileno.

Se deben tener en cuenta sus características, como porcentaje de sólidos, tipo de solvente, pH y compatibilidad con los fungicidas o demás compuestos adicionados a la cera. Muchas de estas cualidades son determinadas por el mercado (Saucedo, 2015).



Fotos: María Cristina García

Figura 44. Sistema de aplicación de cera con rodillos en frutos de lima ácida Tahití.

Entre las ceras más utilizadas están las de emulsión entre el 18 % y el 24 %, a base de carnauba, o polietileno oxidado y resina de colofonia. También se usan ceras con desinfectante incluido, como las ceras al agua con 18 % de sólidos, con amonio acuoso y un 0,3 % de enilconazol (imazalil) o con un 0,5 % de tiabendazol; así como ceras al 18 % de polietileno oxidado, que puede ser carnauba o goma laca, acompañado con amoniaco acuoso al 2 % y enilconazol (imazalil) (Saucedo, 2015).

El objetivo de estos fungicidas es prevenir el ataque de hongos como *Penicillium* spp., *Diplodia* spp. y *Phomopsis* spp. Por lo general, las ceras se aplican mediante boquillas dirigidas directamente a la fruta o pulverizadas sobre los cepillos.

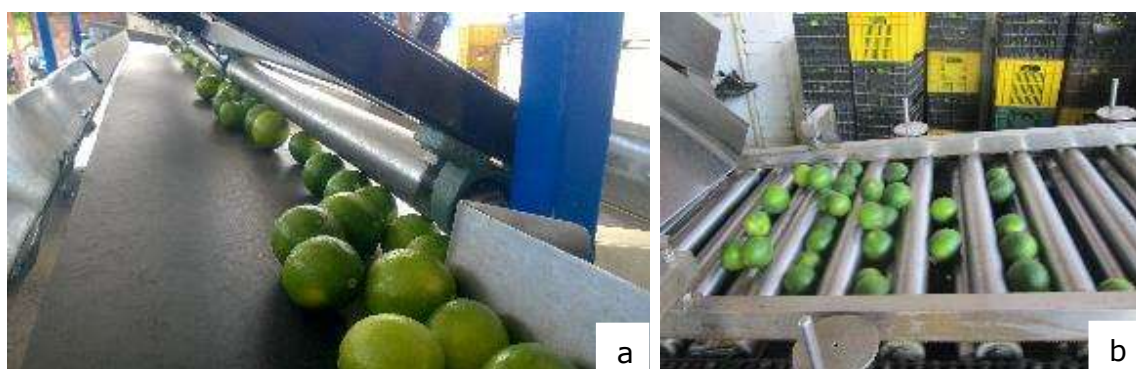
Antes de pasar a la sección de empaque, la cera debe secarse, para que quede homogéneamente adherida y garantizar que cumplirá con sus funciones de evitar la deshidratación, mantener el brillo y el color, y reducir la pérdida de peso y los riesgos de daños por podredumbre. Algunas requieren secado con aire caliente (30 °C; 1-2 min), mientras que otras se pueden dejar secar al ambiente, buscando que se formen capas uniformes.

Clasificación

Una vez que la fruta está limpia, desinfectada y encerada se clasifican en categorías extra o primera, por tamaño o calibre y grado de calidad, según las normas técnicas. De acuerdo con el mercado, la lima es clasificada en diferentes calibres, descritos en el empaque.

Existen distintos métodos de clasificación por calibres, y en la figura 153 se muestran los más comunes: el primero consiste en rodillos que se extienden a lo largo de la banda y a una altura variable sobre la misma, que se incrementa desde el inicio de la banda hasta el final (figura 153a). Así, los frutos más pequeños salen en la primera parte de la banda, y los más grandes tienen que desplazarse hasta la parte final.

En el segundo sistema, los rodillos que van transportando la fruta tienen diferentes grados de separación: están más unidos en el inicio y más separados hacia el final; por lo tanto, las limas pequeñas salen primero (figura 153b). La altura sobre la banda, así como las distancias entre rodillos, se calibran para que correspondan con los calibres que se utilizan en lima, basados principalmente en los requisitos del mercado o, en algunas ocasiones, en las normas técnicas, como en el caso de Colombia con la NTC 4087 (ICONTEC, 1997).



Fotos: María Cristina García

Figura 45. Dos sistemas de clasificación de frutos de lima ácida Tahití por calibre. a. Barras de altura variable; b. Rodillos perpendiculares.

Empaque

Para el mercado nacional, la lima es comercializada en canastillas plásticas de 18 a 20 kg, o en costales o lonas, que van desde los 5 hasta los 50 kg (figura 154a). Sin embargo, es importante mencionar que estos empaques de alta capacidad no son recomendados para la comercialización de las limas, en primer lugar, por los daños mecánicos por compresión que sufre la fruta ubicada en la base de los empaques y, en segundo lugar, por la dificultad para apilarlos de manera estable, lo que implica un riesgo de caída de la fruta durante el transporte, aumentando las pérdidas durante la poscosecha.



Fotos: María Cristina García

Figura 46. Empaques de lima ácida Tahití. a. Costal; b. Caja de cartón con especificación del calibre empacado; c. Pallets.

En el caso de las limas para exportación se utilizan cajas (figura 154b). Para los mercados de Japón y de Europa, es común el uso de cajas de cartón, con una capacidad de 10 lb o 4,5 kg, mientras que para el de Estados Unidos se prefieren cajas de cartón de 18 kg.

El mercado de Japón prefiere frutos con calibres de 44, 42 y 40, y 36 unidades por cada caja de 10 lb; el mercado de Estados Unidos acepta frutos más pequeños (calibres 54, 48, 42 y 36) y, finalmente, el mercado europeo prefiere frutos pequeños, con calibres de 63, 54 y 48, y 42 unidades por caja (Saucedo, 2015).

Los *pallets* (figura 154c) para transporte terrestre se estructuran con 180 cajas, mientras que, para transporte aéreo, como en el caso de Japón, se manejan

pallets de 120 cajas (Saucedo, 2015). Sin embargo, a pesar de que estas condiciones son las más comunes, muchos mercados tienen sus requerimientos particulares.

Una vez empacados y armados, los *pallets* se deben almacenar en condiciones adecuadas de temperatura y, preferiblemente, de humedad relativa, mientras llega el momento del despacho hacia el mercado externo.

Almacenamiento y transporte

Estas operaciones deben cumplir con las mismas recomendaciones ya explicadas, como mantener la temperatura de 10 °C constante y uniforme en todo el sistema. Antes de cargar la fruta, ya sea al vehículo de transporte o a las bodegas de almacenamiento, es necesario limpiar y desinfectar estos lugares, pues en ellos es muy común la presencia de esporas de hongos como *Penicillium* spp. (Brito et al., 2012).

La cadena de frío debe mantenerse a lo largo del sistema de distribución de la fruta y, si no se cuenta con transporte refrigerado (figura 155) hacia los puertos o mercados de destino, es necesario evitar los cambios bruscos de temperatura, ya que favorecen la condensación de la humedad, y con ello el desarrollo de hongos y la velocidad de las reacciones de deterioro.

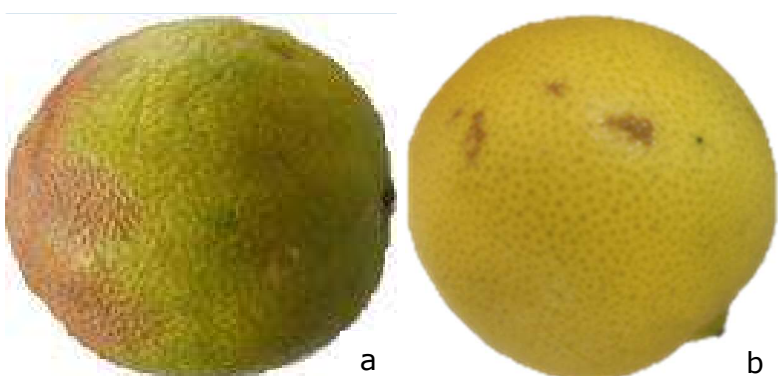
Durante el proceso de exportación, en los puertos de salida la fruta debe ser inspeccionada antes de su trasvase al contenedor que la transportará hasta el puerto de destino. Para no romper la cadena de frío durante esta inspección, en esos lugares se cuenta con contenedores especiales o de transferencia, destinados exclusivamente para esta tarea, como se observa en la figura 155. Respecto a la humedad relativa, es ideal que se mantenga entre el 85 % y el 90 %, para evitar la deshidratación de la fruta.



Fotos: María Cristina García

Figura 47. Transporte de lima ácida Tahití en cadena de frío. a. Transporte a puerto; b. Contenedor para inspección; c. Inspección de la fruta en puerto.

También es muy importante recordar que la lima ácida Tahití, y los cítricos en general, son sensibles al frío. La temperatura óptima depende de la variedad, el grado de madurez y los factores precosecha, como la fertilización, así como del manejo en poscosecha. Para la lima ácida Tahití se recomienda una temperatura de $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cuando desciende más allá de estos valores, y dependiendo del tiempo de exposición a estas bajas temperaturas, ocurren daños que afectan drásticamente la calidad y la vida útil de la lima (figura 156).



Fotos: María Cristina García

Figura 48. Diferentes aspectos de daño por frío en lima ácida Tahití durante su almacenamiento. a. Bronceado de la piel; b. Peteca.

Transformación

La nueva tendencia en el consumo apunta a alimentos que no solo proporcionen elementos nutritivos básicos, sino también compuestos funcionales que traigan beneficios adicionales a la salud.

En términos generales, los cítricos se caracterizan por ser fuentes importantes de vitamina C (Arias & Toledo, 2000), la cual se considera un potente antioxidante, y cuyo déficit ha sido asociado con el escorbuto. Así mismo, esta vitamina también participa en la formación de colágeno, glóbulos rojos y favorece la absorción de hierro.

De igual modo, los cítricos también aportan provitamina A, ácido fólico, potasio, fibra, flavonoides y ácido cítrico, entre otros compuestos. Este último también es utilizado como antioxidante natural en la industria de alimentos.

Las industrias procesadoras tienen un reto muy grande para mantener estas características funcionales en los productos que desarrollan, pues la mayoría de los procesos de transformación implican altas temperaturas y operaciones de homogenización que conllevan una alta aireación del producto, condiciones que afectan drásticamente el contenido de estos compuestos funcionales.

Entre los cítricos se destacan los limones, que a su vez presentan múltiples variedades, de las cuales cabe mencionar las limas y los limones. Las limas ácidas son las más comercializadas en el mundo, aunque para su mercadeo por lo general las agrupan en la categoría de limones (UTEPI, 2006).

Los limones no tienen competencia con las demás variedades de cítricos, pues no clasifican como fruta para consumo directo o como postre. No obstante, tienen muchos usos, especialmente sus subproductos, los cuales pueden ser utilizados en la generación de energía (biocombustibles, biomasa); en cosméticos, para la producción de aceites (terapéuticos o fragancias), y en productos para el cuidado de la piel.

De igual forma, entre otros usos, se emplean en la industria alimentaria, para la obtención de jugos, pulpas, fibra, vino, mermeladas, aceites, refrescos o aditivos; en el sector agropecuario, en la producción de abonos, alimentación animal y

pesticidas naturales y, finalmente, en el ámbito industrial, para la elaboración de productos de limpieza ecológicos (Cámara de Comercio de Medellín [CCM], 2015).

En cuanto a su composición nutricional, la tabla de alimentos del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF, 2015) informa que la lima tiene un menor contenido energético que la mandarina y la naranja (con alrededor de 27 kcal/100 g). El aporte proteínico (0,3 g/100 g) y de grasa (0,1 g/100 g) es bajo, como en la mayoría de las frutas.

En cuanto a carbohidratos, reporta cerca de 6 g/100 g, y cantidades de cenizas (0,4 g/100 g) y de calcio (50 mg/100 g) mayores a las documentadas en mandarina (35 mg/100 g) y naranja (31 mg/100 g), mientras que los de fósforo y potasio son similares. Respecto a las vitaminas, sobresale la vitamina C (45 mg/100 g), cuyo contenido supera el reportado en mandarina y naranja. Otro aspecto importante es la cantidad de pectina (9,3 mg/100 g).

Muchos de los contenidos mencionados dependen de factores genéticos y edafo-climáticos, por lo cual se encuentran grandes diferencias entre reportes provenientes de diferentes fuentes. La tabla 16 resume la composición proximal de frutos de lima provenientes de cuatro localidades y sobre tres portainjertos diferentes.

Tabla 1. Composición proximal de lima ácida Tahití injertada en tres portainjertos, evaluados en cuatro localidades de Colombia

Portainjerto	Localidad	Humedad (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Carbohidratos totales (%)	Vitamina C (mg/100 g)
Citrumelo	Lebrija	90,06	0,52	0,02	1,09	8,31	20,88
	El Espinal	87,29	0,43	0,03	0,85	11,39	21,32
	Palmira	87,58	0,41	0,02	0,81	11,18	20,34
	Villavicencio	90,02	0,53	0,03	1,07	8,35	17,61
Kryder	Lebrija	88,86	0,52	0,03	0,81	9,78	27,73
	Palmira	86,89	0,44	0,03	0,83	11,81	23,19
Volkameriana	Lebrija	89,77	0,52	0,03	0,94	8,74	20,94
	El Espinal	87,78	0,44	0,02	0,83	10,93	18,8
	Palmira	88,11	0,38	0,04	0,87	10,6	21,63
	Villavicencio	87,58	0,55	0,04	0,94	10,89	19,38

Fuente: García, Botina et al. (2016)

Estos resultados permiten observar cómo la lima ácida Tahití, en diversos portainjertos, presentan valores similares entre ellos, pero diferentes a los reportados por la tabla de composición de alimentos del ICBF. Aunque, como es de esperarse en la mayoría de las frutas, los contenidos de grasa y proteína son bajos, superan en más del doble los registrados en la tabla del ICBF.

Las cantidades de azúcares y de ceniza encontradas en esta muestra también fueron mayores que las que presenta la tabla del ICBF, mientras que, en las muestras de las limas injertadas en los tres patrones provenientes de las cuatro localidades, el contenido de vitamina C fue significativamente menor a los reportes del ICBF. Sobre los portainjertos Carrizo, Cleopatra y Sunk y provenientes de Palmira, la lima ácida Tahití presentó valores de vitamina C de entre 25 y 30 mg, que fueron los más altos encontrados en la muestra analizada.

Desde el punto de vista funcional, en la lima ácida Tahití es importante resaltar el contenido de flavonoides y de limoneno, que se encuentran principalmente en la cáscara. En el caso de los flavonoides, los más comunes e importantes en los cítricos son las flavonas (hesperetina y naringenina) y los flavonoles como la quercetina (Bhagwat, Haytowitz, & Holden, 2014).

Investigaciones preliminares muestran valores de entre 5 y 12 mg/100 g de cáscara de estos compuestos, que han sido relacionados como antioxidantes, e importantes en el control de enfermedades cardiovasculares (Mulvihill et al., 2010; Orhan et al., 2015; Zarebczan, Pinchot, Kunnimalaiyaan, & Chen, 2011), aunque todavía se requieren mayores estudios.

El limoneno es un monoterpeno que se encuentra en el aceite de limón, y se extrae con el prensado de la cáscara, y constituye entre el 56 % y el 69 % del aceite (Albaladejo, 1999), aunque otros estudios reportan hasta el 90 % (Yáñez, Lugo, & Parada, 2007). Este compuesto es considerado un agente antidepresivo, antiinflamatorio, ansiolítico, inmunoestimulante y antibacteriano.

Además, diversos estudios reportan que puede tener efectos anticancerígenos (Arruda, Miguel, Yokoyama-Yasunaka, Katzin, & Uliana, 2009; D'Alessio et al., 2013; Lu et al., 2004; Miller et al., 2013; Rabi & Bishayee, 2009a, 2009b; Sun,

2007; Zhang, Wang, Liu, Tang, & Zhang, 2014), ya que es posible que promueva la actividad de enzimas hepáticas y del intestino encargadas de la detoxificación de carcinógenos (Kaji et al., 2001).

En el campo industrial, los principales productos obtenidos de la lima son el jugo, el aceite esencial, el limoneno y la pectina. De acuerdo con Bustamante e Isaza (2015), el 25 % de la producción de limas corresponde a segunda y tercera categorías, que son destinadas a la industria.

De estas, el 80 % se utiliza para la elaboración de zumos y pulpas, y el 20 % restante para la producción de *pellets*, aceites esenciales, pectinas y flavonoides. Por otra parte, UTEPI (2006) reporta que en el procesamiento del limón se obtienen del 45 % al 55 % de jugo-pulpa, del 55 % al 45 % de cáscara y del 0,2 % al 0,5 % de aceite esencial.

La producción de jugo es una de las líneas de mayor importancia en la industria de los cítricos. Una vez exprimido, el jugo es centrifugado, pasteurizado, concentrado y refrigerado a -20 °C (Vicente-Trapani, s. f.). Este jugo puede ser clarificado posteriormente, para ser utilizado en bebidas transparentes o como saborizante.

Por consiguiente, el jugo de limón tiene mercado como bebida lista para consumir o como saborizante en otros productos, como las bebidas no alcohólicas, suaves o *soft drinks*, y las bebidas alcohólicas o *spirits*, como el Bacardí Limón y el Smirnoff Ice, entre otras. Francia y Japón son los principales importadores de jugo de limón.

En Estados Unidos, compañías como Coca-Cola y PepsiCo han introducido el sabor a limón en sus refrescos de soda, y más recientemente el sabor a lima. Además, cuentan con un mercado de 450 tipos de bebidas suaves, con un consumo per cápita de bebidas carbonatadas de cerca de 200 litros al año, por lo cual sigue siendo un mercado muy interesante. En Brasil, las bebidas energéticas y las alcohólicas han mostrado ser las más dinámicas del mercado, pues, entre 1994 y 2003, este creció más del 378 % (Fonseca, 2004, como se citó en UTEPI, 2006).

Estudios preliminares han mostrado que el contenido promedio de jugo de las limas se encuentra alrededor del 37 %, pero parece existir una influencia de los portainjertos y las condiciones edafoclimáticas o la localidad de producción, como se observa en la tabla 17, donde se presenta el contenido promedio de jugo de la lima proveniente de diferentes regiones y portainjertos.

Tabla 2. Contenido promedio de jugo de lima ácida Tahití injertada en seis portainjertos, evaluados en cuatro localidades de Colombia

Portainjertos	El Espinal	Lebrija	Villavicencio	Palmira
Carrizo	36,3 a	42,5 ba	33,1 a	36,25 a
Citrumelo CPB 4475	36,9 a	40,1 bc	34,5 a	35,98 ba
Cleopatra	38,2 a	41,6 ba	33,8 a	36,21 a
Kryder	36,9 a	45,9 a	30,0 a	35,10 b
Sunky x English	33,6 a	41,2 b	31,4 a	37,20 a
Volkameriana	36,7 a	36,1 c	35,2 a	35,21 ba
Promedio	36,4	41,5	33	35,99

Valores promedio identificados con una misma letra en una columna no presentan diferencias estadísticas con un nivel de significancia del 5 %, según prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Fuente: García, Botina et al. (2016) y Martínez (datos inéditos)

De acuerdo con la tabla 17, la lima proveniente de Lebrija muestra los mayores contenidos de jugo, lo cual favorece su participación o entrada al mercado de los jugos o zumos de fruta. Sin embargo, también es importante tener en cuenta el peso de los frutos, pues pueden tener mayor contenido porcentual de jugo, pero un bajo peso, lo cual podría exigir más trabajo a la industria procesadora y redundar en menores rendimientos en cuanto a producción por hora. Por lo tanto, para la industria, el peso de fruto también es importante. En la tabla 18 se presenta el peso promedio de los frutos de lima ácida Tahití provenientes de diferentes portainjertos y localidades.

Tabla 3. Peso promedio de frutos de lima ácida Tahití injertada en seis portainjertos, evaluados en cuatro localidades de Colombia

Portainjertos	El Espinal	Lebrija	Villavicencio	Palmira
Carrizo	91,9 a	97,1 a	84,5 a	78,9 a
Citrumelo CPB 4475	91,7 a	90,1 ba	84,4 a	77,91 ba
Cleopatra	98,0 a	99,8 a	82,3 a	78,20 ba
Kryder	88,2 a	77,6 b	85,3 a	78,67 ba
Sunky x English	83,6 a	85,9 ba	88,3 a	77,19 b
Volkameriana	93,1 a	90,3 ba	83,9 a	78,06 ba
Promedio	91,1	90,1	84,8	78,16

Valores promedio identificados con una misma letra en una columna no presentan diferencias estadísticas con un nivel de significancia del 5 %, según prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Fuente: García, Botina et al. (2016) y Martínez (datos inéditos)

La tabla 18 confirma la ventaja que muestra Lebrija en la producción de lima, tanto para el consumo en fresco como para la industria de jugos, pues presenta un peso promedio alto, lo cual, sumado a un alto contenido de jugo, implica mayores rendimientos en la extracción.

Cabe anotar que la firmeza (tabla 19) también juega un papel importante en la facilidad para extraer el jugo, y que esta, al igual que el peso y el contenido de jugo del fruto, dependen de su estado fisiológico o madurez. Por tal razón, es posible que frutos en un estado de madurez más avanzado que el establecido para el mercado en fresco de exportación sean más convenientes para la industria.

Tabla 4. Firmeza promedio de lima ácida Tahití injertada en seis portainjertos, evaluados en cuatro localidades de Colombia

Portainjertos	El Espinal	Lebrija	Villavicencio	Palmira
Carrizo	5,3 bac	3,8 b	6,2 ba	4,91 a
Citrumelo CPB 4475	4,3 c	3,9 b	5,7 b	4,33 c
Cleopatra	4,5 bc	4,3 ba	6,0 ba	4,87 ba
Kryder	5,0 bac	5,8 a	7,2 a	4,91 a
Sunky x English	5,8 a	3,9 b	6,2 ba	4,96 a
Volkameriana	5,5 ba	5,5 a	6,6 ba	4,79 b
Promedio	5,1	4,5	6,3	4,8

Valores promedio identificados con una misma letra en una columna no presentan diferencias estadísticas con un nivel de significancia del 5 %, según prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Fuente: García, Botina et al. (2016) y Martínez (datos inéditos)

La lima proveniente del municipio de Lebrija también presenta ventajas mecánicas, ya que tiene una menor firmeza, que hace más fácil la extracción del jugo, aunque eso puede representar una mayor susceptibilidad a daños mecánicos cuando se comercializa como fruta fresca.

En cuanto a la producción de aceite esencial, la Dirección de Alimentación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca, Alimentos y Forestación de Argentina (SAGPyA) (como se citó en UTEPI, 2006) ha establecido que se requieren 190 kg de lima para obtener 1 kg de este aceite, y existen diferentes métodos para lograrlo. El primero es conocido como Food Machinery Company (FMC), en el cual se extraen el aceite y el jugo en un solo paso, y el sistema Brown, en el cual el aceite se extrae antes de exprimir el jugo.

Aunque existen más de 160 tipos de aceites esenciales, el más comercializado en el mundo es el de cítricos. Brasil es el principal exportador de lima ácida Tahití y México de limón mexicano, mientras Perú se ha convertido en el segundo productor mundial de aceite esencial de lima, después de México.

Otro país interesante en este mercado es Argentina, que provee limón fresco y jugo, y además es el primer exportador de aceite esencial de limón. Los principales importadores de aceites esenciales son Europa y Estados Unidos. Irlanda y Reino Unido han sido identificados como mercados atractivos para el aceite esencial de lima, pues importan el 16 % y el 23 %, respectivamente, de este aceite a nivel mundial.

En lo que respecta a las industrias de fragancias y saborizantes, Estados Unidos tiene una demanda importante, pero Japón paga el precio más alto por el aceite esencial, seguido de Irlanda, mientras que Estados Unidos y China pagan el más bajo (UTEPI, 2006).

El limoneno es el principal componente del aceite esencial de lima, y su demanda ha aumentado, pues se considera un disolvente biodegradable (Viro, Tomao, Ginies, Chemat, 2008), pero su oferta no crece a la misma velocidad (Jongedijk et al., 2016). Tiene diversos usos, como disolvente de resinas, pigmentos, tintas y adhesivos. También es utilizado en muchos procesos farmacéuticos y de alimentos (Sun, 2007), en la obtención de sabores artificiales de menta, y en la fabricación de dulces y goma de mascar.

La cáscara que queda después de los procesos de extracción del jugo y el aceite se deshidrata para obtener pectina (9,3 %), que tiene una importante demanda como espesante y texturizante en la industria de alimentos (Corporación de Promoción de Exportaciones Agrícolas no Tradicionales [PROEXANT]), como se citó en UTEPI, 2006).

Los estudios preliminares realizados en lima ácida Tahití, proveniente de diferentes portainjertos y cuatro localidades, mostraron que los contenidos de limoneno son muy variables, y probablemente dependen de la localidad y el portainjerto, pues las limas producidas en El Espinal presentaron los valores más bajos de este compuesto (0,16 mg/100 g de cáscara), mientras que las de Lebrija reportaron un promedio de 0,47 mg/100 g de cáscara.

Por su parte, de las limas provenientes de Palmira se reportaron contenidos de limoneno de 0,69 mg/100 g de cáscara, y de aquellas de Villavicencio 1,47 mg/100 g de cáscara. En cuanto a los portainjertos, Volkameriana presentó los mayores valores (0,97 mg/100 g de cáscara), seguido por Citrumelo (0,55 mg/100 g de cáscara) y Kryder (0,71 mg/100 g de cáscara).

Sin embargo, para determinar el rendimiento en limoneno, es importante tener en cuenta el tamaño del fruto y el contenido de cáscara, entre otros factores. Estudios preliminares han mostrado que, en cuanto al tamaño, no hay diferencias significativas entre limas provenientes de distintas localidades.

En lo que se refiere a los portainjertos, solo en Lebrija se encontraron diferencias significativas en cuanto al peso de las limas (García, Botina et al., 2016). En este municipio, las limas establecidas sobre Cleopatra y Carrizo reportaron un mayor peso (tabla 18), lo cual las hace atractivas para su industrialización. Sin embargo, es necesario determinar el porcentaje de cáscara de estas limas, que generalmente está alrededor del $22 \pm 3\%$.

De acuerdo con UTEPI (2006), el precio del jugo de lima es 10 veces mayor que el del fruto fresco, mientras que el del aceite esencial es 22 veces más alto, lo cual significa un importante valor agregado, pero puede requerir una mayor inversión inicial. Estos aspectos hacen parte del análisis económico que debe acompañar cualquier proyecto emprendedor o de generación de valor.

El mercado internacional de la lima ácida Tahití se muestra atractivo para Colombia, dadas sus condiciones favorables para el cultivo y, en especial, por el hecho de que oferta fruta en temporadas en las cuales los principales países exportadores no tienen producción. Europa es el principal mercado para la fruta en fresco y el jugo, mientras Estados Unidos presenta las mayores importaciones de aceite esencial.

Aunque Colombia ha incursionado en los mercados internacionales de producto fresco, y aún tiene amplias posibilidades de crecimiento, es importante participar en los mercados de mayor valor agregado, como los jugos y el aceite esencial. Sin embargo, para continuar con el crecimiento en el mercado de producto fresco y acceder a los de zumos y aceite esencial, es necesario determinar el portainjerto que se debe utilizar de acuerdo con el producto que se pretende obtener (fruta fresca, jugo o aceite esencial).

De igual forma, resulta imprescindible planificar y llevar a cabo los procesos de producción, acondicionamiento y transformación siguiendo las recomendaciones pertinentes, de manera que se garantice la calidad y homogeneidad del producto final, con el objetivo de que el país sea competitivo en este mercado, en el cual México, Brasil y Argentina son los principales contrincantes.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a todos los productores y exportadores de los municipios de Lebrija, El Espinal y Guamo que contribuyeron al desarrollo de este estudio, así como a los investigadores, profesionales y auxiliares de investigación de los centros de investigación Tibaitatá, La Libertad, Palmira y La Suiza de Agrosavia, y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la financiación.

Referencias

- Agustí, M. (2010). *Fruticultura* (2ª edición). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Albaladejo, Q. (1999). El aceite esencial de limón producido en España: contribución a su evaluación por organismos internacionales (Tesis doctoral). Universidad de Murcia, Murcia, España.
- Álvarez, L. (2017). *Ácaros que afectan la calidad del fruto de lima Tahití en el Valle del Cauca* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Arias, C., & Toledo, J. (2000). *Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítricos)*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-ac304s.pdf>.
- Arruda, D., Miguel, D., Yokoyama-Yasunaka, J., Katzin, A., & Uliana, S. (2009). Inhibitory activity of limonene against *Leishmania* parasites *in vitro* and *in vivo*. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 63(9), 643-649.
- Bhagwat, S., Haytowitz, B., & Holden, M. (2014). *USDA Database for the flavonoid content of selected foods*. Recuperado de <http://www.ars.usda.gov/nutrientdata/flav>.
- Brito, A., Cháfer, M., & González, M. (2012). *Aplicación de recubrimientos a base de quitosano y aceite esencial de limón en el control de la poscosecha de la podredumbre azul de naranjas* (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Recuperado de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14366/TesinaMaster_Axel Brito.pdf?sequence=1.
- Bustamante, A., & Isaza, R. (2015). Identificación de subproductos, obtenidos a partir de segundas y terceras producciones de cítricos, para su aprovechamiento industrial y agroindustrial (Informe ejecutivo de vigilancia tecnológica). Medellín, Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).
- Cámara de Comercio de Medellín (CCM). (2015). *Informe de estructuración de cadenas productivas*. Medellín, Colombia: CCM.

- Cañizares, A., Bonafine, O., Méndez, J., Laverde, D., & Puesme, R. (2012). Crecimiento, desarrollo y calidad del fruto de lima "Tahití" (*Citrus latifolia* Tanaka) en el estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(3), 535-541.
- Croper. (s.f.). *Producto: Yodigon*. Recuperado de https://www.croper.com/home/detail_product/5295.
- Curti-Díaz, S., Hernández, C., & Loredó-Salazar, X. (2012). Productividad del limón "Persa" injertado en cuatro portainjertos en una huerta comercial de Veracruz, México. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 18(3), 291-305.
- Curti-Díaz, S., Loredó-Salazar, X., Díaz-Zorrilla, U., Sandoval-Rincón, J., & Hernández, H. (2000). *Tecnología para producir limón Persa* (Libro técnico N.º 8). Veracruz, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap).
- D'Alessio, P., Ostan, R., Bisson, J., Schulzke, J., Ursini, M., & Béné, M. (2013). Oral administration of d-limonene controls inflammation in rat colitis and displays anti-inflammatory properties as diet supplementation in humans. *Life Sciences*, 92(24-26), 1151-1156.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2015). *Cultivo del limón o lima Tahití (Citrus latifolia Tanaka) frente a los efectos de las condiciones climáticas adversas* (Boletín N.º 41). Bogotá: autor.
- Dirección General de Normas. (1996). NMX-FF-077-1996. *Productos alimenticios no industrializados para consumo humano Fruta fresca. Limón Persa (Citrus latifolia T.). Especificaciones*. Ciudad de México, México: Secretaría de Economía.
- Dorado, D., Grajales, L., & Ríos, L. (2015). Efecto del riego y la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de la fruta de lima ácida Tahití *Citrus latifolia* Tanaka (Rutaceae). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 87-93.
- Espinal, C., Martínez, H., & Peña, Y. (2005). *La cadena de cítricos en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica. 1991-2005* (Documento de trabajo N.º 66). Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

- Figuerola, C., Opazo, M., Vera, P., Arriagada, O., Díaz, M., & Moya, M. (2012). Effect of postharvest treatment of calcium and auxin on cell wall composition and expression of cell wall-modifying genes in the Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*) fruit. *Food Chemistry*, 132(4), 2014-2022.
- Fischer, G., & Orduz-Rodríguez, J. (2012). Ecofisiología en frutales. En G. Fischer (Ed.). *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 54-72). Bogotá, Colombia: Produmedios.
- García, C., Botina, B., & Calvo, M. (2016). *Condiciones óptimas de almacenamiento para lima ácida Tahití* (Informe final). Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- García, J., Olmo, M., & García, J. (2016). Decay incidence and quality of different citrus varieties after postharvest heat treatment at laboratory and industrial scale. *Postharvest Biology and Technology*, 118, 96-102.
- Hussain, P., Meena, R., Dar, M., & Wani, A. (2012). Effect of post-harvest calcium chloride dip treatment and gamma irradiation on storage quality and shelf-life extension of Red delicious apple. *Journal of Food Science and Technology*, 49(4), 415-426.
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). (2015). *Tabla de Composición de Alimentos Colombianos*. Bogotá, Colombia: ICBF.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1997). *Norma Técnica Colombiana NTC 4087. Frutas frescas. Lima Tahití. Especificaciones*. Bogotá, Colombia: Icontec.
- Jamett, P. (2010). *Efecto de la estiba en la efectividad del desverdizado de limones (Citrus limón L. Burm) var. fino 49 y naranjas (Citrus sinensis L. Osbeck) var. Lane Late* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Jongedijk, E., Cankar, K., Buchhaupt, M., Schrader, J., Bouwmeester, H., & Beekwilder, J. (2016). Biotechnological production of limonene in microorganisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(7), 2927-2938.
- Kaji, I., Tatsuta, M., Iishi, H., Baba, M., Inoue, A., & Kasugai, H. (2001). Inhibition by D-limonene of experimental hepatocarcinogenesis in Sprague-Dawley rats does not involve P21RAS plasma membrane association. *International Journal of Cancer*, 93(3), 441-444.
- Ladaniya, M. (2008). *Citrus fruit: biology, technology and evaluation*. Amsterdam, Países Bajos: Academic Press.

- Lado, J., Gambetta, G., & Zacarías, L. (2018). Key determinants of citrus fruit quality: metabolites and main changes during maturation. *Scientia Horticulturae*, 233, 238-248.
- Lado, J., Rodrigo, M., & Zacarías, L. (2014). Maturity indicators and citrus fruit quality. *Stewart Postharvest Review*, 2(2), 1-6.
- López, J. (Productor). (2016). *La lima Tahití: tercer lugar de las especies cítricas cultivadas en Colombia* [Video]. Lebrija, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Recuperado de <http://web.corpoica.org.co/ver?vid=19119>.
- Lozano, M. (1996). Condiciones de clima y prácticas agronómicas y sus efectos en producción y calidad de los cítricos. Manizales. *Asocia*, 4(4), 3-7.
- Lu, G., Zhan, B., Feng, A., Qu, Y., Yu, H., & Xie, H. (2004). Inhibition of growth and metastasis of human gastric cancer implanted in nude mice by D-limonene. *World Journal of Gastroenterology*, 10(14), 2140-2144.
- Martínez, K., & Iriarte, A. (2004). *Análisis del potencial exportador de lima Tahití en fresco producida en el departamento de Bolívar* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia.
- McKay, A., Förster, H., & Adaskaveg, J. (2012). Toxicity and resistance potential of selected fungicides to *Galactomyces* and *Penicillium* spp. causing postharvest fruit decays of citrus and other crops. *Plant Disease*, 96(1), 87-96.
- Milla, D., Arizaleta, M., & Díaz, L. (2009). Crecimiento del limero "Tahití" (*Citrus latifolia* Tan.) y desarrollo del fruto sobre cuatro portainjertos en un huerto frutal ubicado en el municipio Palavecino, estado Lara, Venezuela. *UDO Agrícola*, 9(1), 85-95.
- Miller, J., Lang, J., Ley, M., Nagle, R., Hsu, C., Thompson, P., ... & Chow, H. (2013). Human breast tissue disposition and bioactivity of limonene in women with early-stage breast cancer. *Cancer Prevention Research*, 6(6), 577-584.
- Ministry of Fisheries, Crops and Livestock (MINFCL), New Guyana Marketing Corporation (NGMC), & National Agricultural Research Institute (NARI). (2004). *Lemons. Postharvest care and market preparation* (Technical Bulletin N.º 29). Georgetown, Guyana: MINFCL, NGMC, & NARI. Recuperado de http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnacy845.pdf.

- Mulvihill, E., Assini, J., Sutherland, B., DiMattia, A., Khami, M., Koppes, J., ... & Huff, M. (2010). Naringenin decreases progression of atherosclerosis by improving dyslipidemia in high-fat-fed low-density lipoprotein receptor-null mice. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 30(4), 742-748.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2007). Codex Stan 213-1999. Norma del Codex para la lima-limón. En *Frutas y hortalizas frescas. Codex Alimentarius*. Roma, Italia: FAO.
- Orhan, E., Nabavi, F., Daglia, M., Tenore, C., Mansouri, K., & Nabavi, M. (2015). Naringenin and atherosclerosis: a review of literature. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 16(3), 245-251.
- Palacios, J. (2005). *Citricultura*. Tucumán, Argentina: Hemisferio Sur.
- Peng, Y., & Rabe, E. (1998). Effect of differing irrigation regimes on fruit quality, yield, fruit size and net CO₂ assimilation of Mihowase satsuma. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 73(2), 229-234.
- Pérez, Y. (2010). Eventos fisiológicos asociados a la madurez y calidad de los frutos cítricos en Cuba y su relación con los productos transformados de la industria. La Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. Recuperado de <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/1067/cuf0114s.pdf>.
- Pfenagri. (s.f.). *Tijera para manzana fuji y cítricos*. Recuperado de <http://pfenagri.cl/tijeras-de-raleo-y-cosecha/8-tijera-fuji-citricos.html>.
- Piña, G., Gastón, E., Monteverde, E., Magaña, S., Espinoza, M., & Rangel, L. (2006). Crecimiento, producción y calidad de frutos en limeros "Persa" sobre 11 portainjertos. *Agronomía Tropical*, 56(3), 433-448.
- Quiroga, J., Hernández, F., Silva, M., & Orduz-Rodríguez, J. (2010). Comportamiento de la producción de lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka), injertada sobre el patrón de mandarina Cleopatra (*Citrus reticulata* Blanco) y la influencia del virus de la tristeza (CTV) en condiciones del piedemonte del Meta, 1997-2008. *Orinoquia*, 14(1), 5-15.
- Rabi, T., & Bishayee, A. (2009a). D-Limonene sensitizes docetaxel-induced cytotoxicity in human prostate cancer cells: generation of reactive oxygen species and induction of apoptosis. *Journal of Carcinogenesis*, 8, 9.
- Rabi, T., & Bishayee, A. (2009b). Terpenoids and breast cancer chemoprevention. *Breast Cancer Research and Treatment*, 115(2), 223-239.

- Reina, C., Vargas, E., & Witz, M. (1995). *Manejo postcosecha y evaluación de la calidad para la naranja (Citrus sinensis), limón (Citrus aurantifolia) y mandarina (Citrus reticulata) que se comercializa en la ciudad de Neiva*. Neiva, Colombia: Universidad Surcolombiana.
- Rincón, A., & Quintero, E. (2015). Funciones del calcio en la calidad poscosecha de frutas y hortalizas: una revisión. *Alimentos Hoy*, 24(34), 13-25.
- Rivera, F., Ponce, M., Díaz de León, F., Villegas, A., & Pérez, L. (2010). Acid limes: a review. *Fresh Produce*, 4(1), 116-122.
- Rodríguez, M. (2002). *Guía técnica: cultivo del limón pérsico*. San Salvador, El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA).
- Saucedo, C. (2015). *Requerimientos de calidad de lima Tahití para el mercado de exportación*. Jornada de actualización tecnológica: oferta tecnológica para el mejoramiento de la producción de cítricos para el piedemonte llanero, ci La Libertad, Colombia.
- Senthelas, P. (2005). Agrometeorología dos citricos. En D. Mattos, J. D. de Negri, R. M. Pio & J. Pompeu (Eds.). *Citros* (pp. 317-344). Campinas, Brasil: Instituto Agrônômico, Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola (Fundag).
- Sun, J. (2007). D-Limonene: safety and clinical applications. *Alternative Medicine Review*, 12(3), 259-264.
- Tejacal, I., Beltrán, M., Lugo, A., & Ariza, R. (2009). *Calidad del limón Persa y naranja Valencia en el estado de Morelos* (Folleto técnico N.º 41). Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Tejacal, I., Lugo, A., & Valdez, L. (2013). *Estudio nutricional en cítricos de Morelos*. Recuperado de <https://docplayer.es/15889717-Estudio-nutricional-en-citricos-de-morelos.html>.
- Unidad Técnica de Estudios para la Industria (UTEPI). (2006). *Lima y limón. Estudio agroindustrial en el Ecuador: competitividad de la cadena de valor y perspectivas de mercado*. Quito, Ecuador: Ministerio de Comercio Exterior, Industrialización, Pesca y Competitividad (MICIP) y Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). Recuperado de https://www.unido.org/sites/default/files/2007-11/71787_TCB_No.15.Lima__Limon_Estudio_Agroindustrial_en_el_Ecuador_0.pdf.

- United States Department of Agriculture (USDA). (2006). *United States Standards for Grades of Persian (Tahiti) Limes*. Washington, EE. UU.: autor.
- Vicente-Trapani S. A. (s. f.). *Unidad de negocios: industria*. Tucumán, Argentina: Vicente-Trapani S. A. Recuperado de http://www.vicentetrapani.com/gest_amb/Informe%20industria%20Feb-00.html.
- Virost, M., Tomao, V., Ginies, C., & Chemat, F. (2008). Total lipid extraction of food using d-Limonene as an alternative to n-Hexane. *Chromatographia*, 68(3-4), 311-313.
- Yáñez, X., Lugo, L., & Parada, D. (2007). Estudio del aceite esencial de la cáscara de la naranja dulce (*Citrus sinensis*, variedad Valenciana) cultivada en Labateca (Norte de Santander, Colombia). *Bistua*, 5(1), 3-8.
- Yara. (2019b). *Sólidos solubles totales (SST) en cítricos*. Bogotá, Colombia: Yara. Recuperado de <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/citricos/solidos-solubles-totales-sst-en-citricos/>.
- Yara. (2019c). *Influir en la calidad de cítricos*. Recuperado de <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/citricos/citricos-calidad/>.
- Zarebczan, B., Pinchot, N., Kunnimalaiyaan, M., & Chen, H. (2011). Hesperetin, a potential therapy for carcinoid cancer. *The American Journal of Surgery*, 201(3), 329-332.
- Zhang, Z., Wang, L., Liu, W., Tang, G., & Zhang, Y. (2014). Synergistic inhibitory effect of berberine and d-Limonene on human gastric carcinoma cell line MGC803. *Journal of Medical Food*, 17(9), 955-962.