

ASPECTOS DE LA FISIOLOGÍA Y EL CULTIVO DEL LULO (*Solanum quitoense* LAM.) EN COLOMBIA: UNA REVISIÓN



PHYSIOLOGY AND CROP ASPECTS OF *Solanum quitoense* LAM (LULO) IN COLOMBIA: A REVIEW

Jaime-Guerrero, Marilcen; Álvarez-Herrera, Javier G.; Fischer, Gerhard

 Marilcen Jaime-Guerrero
marilcen.jaime@uptc.edu.co
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
Tunja, Colombia, Colombia

 Javier G. Álvarez-Herrera
javier.alvarez@uptc.edu.co
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
Tunja, Colombia, Colombia

 Gerhard Fischer
gfischer@unal.edu.co
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá,
Colombia, Colombia

Revista de Investigación Agraria y Ambiental
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
ISSN: 2145-6097
ISSN-e: 2145-6453
Periodicidad: Semestral
vol. 13, núm. 1, 2022
riaa@unad.edu.co

Recepción: 19 Abril 2021
Aprobación: 27 Julio 2021
Publicación: 21 Diciembre 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/1302674009/>

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4641>

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/about>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

CÓMO CITAR: Jaime-Guerrero, M., Álvarez-Herrera, J. y Fischer, G. (2022). Aspectos de la fisiología y el cultivo del lulo (*Solanum quitoense* LAM.) en Colombia. una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 131 – 148. <https://doi.org/10.22490/21456453.4641>

Resumen: **Contextualización:** el lulo es un fruto promisorio de alta demanda en los mercados, debido a sus excelentes propiedades organolépticas, además de ser fuente importante de vitaminas y minerales.

Vacío de conocimiento: en los últimos diez años se han desarrollado múltiples investigaciones sobre la ecofisiología de la planta de lulo, sin que exista una revisión de literatura de este.

Propósito del estudio: recopilar aspectos generales del cultivo, incluyendo los principales requerimientos agronómicos y aspectos ecofisiológicos para una producción sustentable.

Metodología: la investigación se basó en una revisión metódica y ordenada de los estudios más relevantes publicados en diferentes bases de datos.

Resultados y conclusiones: el cultivo de lulo se cultiva entre los 1900 y 2200 msnm en Colombia, con temperaturas de 15 a 24 °C. Requiere entre 1.500 a 2.500 mm de precipitación al año. Se asemeja a una planta de días cortos, que exhibe su mejor desarrollo en sitios sombreados con humedades relativas cercanas al 80 %. El método más eficiente de polinización es el realizado por abejorros (*Bombus terrestris* y *Bombus* sp.) por medio de vibraciones. La fotosíntesis neta del cultivo de lulo varía de 5,52 a 34,03 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹ a los 398 y 460 días después de trasplante; mientras que la eficiencia máxima del fotosistema II (Fv/Fm) en el cultivo oscila entre 0,55 y 0,65, para plantas sin y con aplicación de nitrógeno foliar.

Los valores de clorofila (a, b y total) para plantas de lulo son mayores en plantas en etapa de trasplante que en producción, debido a la reducida área fotosintética. Las concentraciones de nitrógeno mayores a 110 mg L⁻¹ generan mejor rendimiento y mayor área foliar. La planta de lulo comienza la producción entre los ocho y 12 meses después ser trasplantada y produce rendimientos promedio de 8,5 t ha⁻¹. El desarrollo y crecimiento de los frutos de lulo tiene un comportamiento que se ajusta a un modelo logístico sigmoide simple. Los frutos de lulo en la cosecha pueden llegar a alcanzar hasta 209 g con una firmeza de 58 N y valores de 13,6 °Brix y 56,2, 10,8 y 46,8 para los parámetros de color luminosidad (L*), cromaticidad a* y cromaticidad b*, respectivamente.

Palabras clave: crecimiento, calidad, fruto tropical, ecofisiología, solanácea, poda.

Abstract: Contextualization: lulo is a promising fruit of high demand in the markets due to its excellent organoleptic properties, as well as an important source of vitamins and minerals.

Knowledge gap: in the last ten years, multiple investigations have been carried out about the ecophysiology of the lulo plant, without a previous literature review of this.

Purpose: collect general aspects of the lulo crop, including the main agronomic requirements and ecophysiological aspects for sustainable production.

Methodology: the research was based on a methodical and orderly review of the most relevant studies published in different databases.

Results and conclusions: lulo plants grows between 1,900 and 2,200 m. a. s. l. in Colombia with temperatures of 15 to 24 °C. It requires between 1,500 to 2,500 mm of precipitation per year. It appears like a short-day plant, which exhibits its best development in shady places with relative humidity close to 80 %. The most efficient pollination method is carried out by bumblebees (*Bombus terrestris* and *Bombus* sp.) through vibrations. The net photosynthesis of the lulo plants varies from 5.52 to 34.03 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹ at 398 and 460 days after transplanting, while the maximum efficiency of photosystem II (FV/Fm) in the lulo crop oscillates between 0.55 and 0.65 for plants without and with foliar nitrogen application.

The values of a, b, and total chlorophyll, for lulo plants, are higher in plants in the transplant stage than in production, due to the reduced photosynthetic area. High concentrations of nitrogen (N) (greater than 110 mg L⁻¹) lead to better yield and a larger leaf area. The lulo plant begins its production between eight and 12 months after being transplanted and average yields of 8.5 t ha⁻¹ have been reported. The development and growth of lulo fruits have a simple sigmoid logistic model. The lulo fruits in harvest time can reach up to 209 g, with firmness of 58 N and values of 13,6 °Brix and 56.2, 10.8 and 46.8 for the luminosity (L*), chroma a* and chorma b* color parameters, respectively.

Keywords: growth, quality, tropical fruit, ecophysiology, solanaceous, pruning.

RESUMEN GRÁFICO

Las plantas de lulo crecen entre los 1.900 y 2.200 msnm en Colombia y llegan a producción a los ocho o doce meses. Los frutos de lulo son una fuente importante de vitaminas y minerales; tienen un crecimiento sigmoide simple y maduros alcanzan hasta 209 g con una firmeza de 58 N y valores de 13,6 °Brix



Autores

1. INTRODUCCIÓN

El lulo pertenece a la familia *Solanaceae*, género *Solanum*, es un cultivo tropical que se puede sembrar como cultivo transitorio y además es considerado un cultivo promisorio, originario de los Andes, es ampliamente cultivado en Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica y Honduras (Andrade-Cuvi et al., 2016; Silva et al., 2016). Es un fruto que posee alta demanda tanto en los mercados nacionales como internacionales dadas sus características y propiedades nutricionales (Ramírez, 2021). Así mismo, tiene una gran importancia económica debido a que el cultivo genera alrededor de 2,94 empleos por hectárea en el sector rural (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2014).

En Colombia, el área sembrada para el año 2019 fue de 7751 ha, con un rendimiento de 9.92 t ha⁻¹ y una producción de 76 896 t. Los principales departamentos que concentran la mayor área cosechada son Huila, Valle del Cauca, Antioquia, Cauca, Nariño y Boyacá con una participación del 24 %, 13 %, 8.3 %, 8,2 %, 6,4 % y 6,2 %, respectivamente (Agronet, 2021). En cuanto al departamento de Boyacá, este ha disminuido la producción de 6540 t en el 2017 a 5090 t para el 2019, así como también el rendimiento promedio, ya que para el 2017 fue de 12,05 t ha⁻¹ y para el 2019 de 10,51 t ha⁻¹ con una variación del 12,7 % (Agronet, 2021).

El cultivo de lulo ha mostrado una amplia adaptación a diferentes altitudes, y en Colombia se encuentra desde los 1600 y hasta los 3000 msnm, su desarrollo óptimo se da entre los 1900 y los 2200 msnm (Fischer et al., 2021). Hasta el momento se han identificado comercialmente entre 11 y 13 variedades diferentes de lulo, de las cuales ocho se encuentran en Colombia, y las mas cultivadas son las llamadas regionales ‘Lulo de Castilla’ y en menor área el híbrido interespecífico ‘La Selva’ (Ligarreto, 2012).

Se pueden encontrar dos variedades botánicas del fruto: *Solanum quitoense* var. *septentrionale* (con espinas, adaptado a sotobosque) y *Solanum quitoense* var. *quitoense* (material sin espinas adaptado a mayor exposición solar) (Ardila et al., 2015). También se encuentra una variedad con espinas de tamaño intermedio que se cultiva en Chipaque, Cundinamarca, Colombia (Ramírez, 2021). Los frutos del lulo se caracterizan por tener excelentes propiedades organolépticas y además son fuente importante de vitaminas y minerales (Gallo et al., 2018). Estos se pueden consumir de muchas formas, ya sea en fresco o en conservados como: jugos, jaleas, salsas, mermeladas, tortas, helados, yogur y como ingrediente de ensaladas de frutas (Ramírez & Davenport, 2020). También en bebidas carbonatadas (Gaona-Gonzaga et al., 2019).

El comportamiento fisiológico y la calidad de los frutos depende tanto de las condiciones ambientales como de la variedad (Ramírez, 2021). Por lo anterior, este trabajo tuvo como objetivo recopilar aspectos generales del cultivo de lulo, incluyendo los principales requerimientos agronómicos para una producción sustentable, debido a que el lulo es uno de los frutos que actualmente Colombia esta llevando al mercado internacional y se requiere actualizar el conocimiento sobre el cultivo, para que este disponible a productores y académicos con el fin de que se puedan aumentar los volúmenes de exportación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se basó en una revisión metódica y ordenada de los estudios más relevantes sobre aspectos de la fisiología de las plantas de lulo, manejo del cultivo y poscosecha del fruto publicados en diferentes bases de datos. Esta revisión incluye bibliografía actualizada y pertinente sobre la fisiología del cultivo de lulo. Surge como una necesidad de actualización del conocimiento, pues en los últimos 10 años se han desarrollado múltiples investigaciones sobre la ecofisiología del cultivo y aspectos fisiológicos de la planta de lulo.

Son importantes para el desarrollo del país los estudios sobre este cultivo, pues las áreas sembradas han disminuido de forma considerable, así como su demanda debido a la excesiva aplicación de agroquímicos, lo que genera menores ingresos en los agricultores (Salazar-González & Betancourth-García, 2017). Del mismo modo, se necesitan estudios sobre el lulo, ya que las últimas revisiones sobre el cultivo no se encuentran plasmadas en artículos científicos que aborden el tema de la presente revisión. Por eso se espera que este artículo sirva de referencia para las futuras investigaciones en los países de producción del cultivo, con el fin de que logre un alto factor de impacto científico y una repercusión amplia en la comunidad rural.

Fuentes de información

La búsqueda de artículos se realizó en diferentes bases de datos electrónicas (Dialnet, EBSCO, Scielo, Science Direct, Springer link, Redalyc, Web of Science), tomando como referencia la ventana de tiempo desde el año 2010 hasta el 2021. No obstante, de los temas sobre los que no se encontraron publicaciones en este periodo de tiempo, se tomaron las bibliografías más relevantes en estas bases de datos con fechas anteriores al año 2010. Se utilizaron, como descriptores de búsqueda, las siguientes palabras clave: Solanum quitoense y lulo, con los que aparecían los registros de productos relacionados con el cultivo. Asimismo, se consultaron bases de datos institucionales (Agronet, Agrosavia, Asohofrucol, Cámara de Comercio de Bogotá, Icontec, SIPSA) para obtener información relacionada con temas socioeconómicos de la producción del cultivo de lulo.

Criterios de inclusión

La búsqueda se delimitó a los temas específicos de fisiología de las plantas de lulo, manejo del cultivo y poscosecha del fruto. Se excluyó toda la literatura relacionada con genética, fitomejoramiento y extensión rural inherentes a la producción de lulo, debido a que son temas muy amplios que desbordarían la extensión del documento y afectarían la finalidad central del artículo. Además de otras búsquedas en la web, se descartó literatura con bajo nivel de impacto y no se tuvo en cuenta información de periódicos, boletines, páginas comerciales de internet y resúmenes de congresos. A pesar de que no se recomienda la inclusión de trabajos de grados, se consideró importante la inclusión de cinco tesis de pregrado, pues contenían información que no se encontraba en artículos científicos y trataban algunos temas actuales, pertinentes y novedosos.

De la búsqueda inicial (773 registros) se excluyó el 75%, debido a la antigüedad de la información, baja calidad y temas abordados superficialmente. Los artículos pre-elegibles fueron 194, de los cuales 106 se excluyeron por que se encontraban repetidos o con información repetida. De los 88 artículos restantes, 18 fueron excluidos por abordar temáticas relacionadas con lulo, pero que no hacían parte del tema de fisiología y poscosecha, para finalmente centrar la revisión con base en 70 documentos (Figura 1).

Variables estudiadas

Las variables utilizadas para extraer información de cada uno de los trabajos seleccionados fueron: revista y año de publicación, número de citas (mínimo dos, excepto para artículos de 2021), metodología empleada (tratamientos utilizados y variables de respuesta, medidas acordadas a los temas tratados), temática específica para incluir en la revisión (botánica, ecofisiología, nutrición, poda, propagación, fotosíntesis, transpiración, inducción floral, polinización, desarrollo, madurez y cosecha de los frutos) y tipo de publicación (artículos científicos, libros, capítulo de libro, tesis, con proceso de revisión por pares).

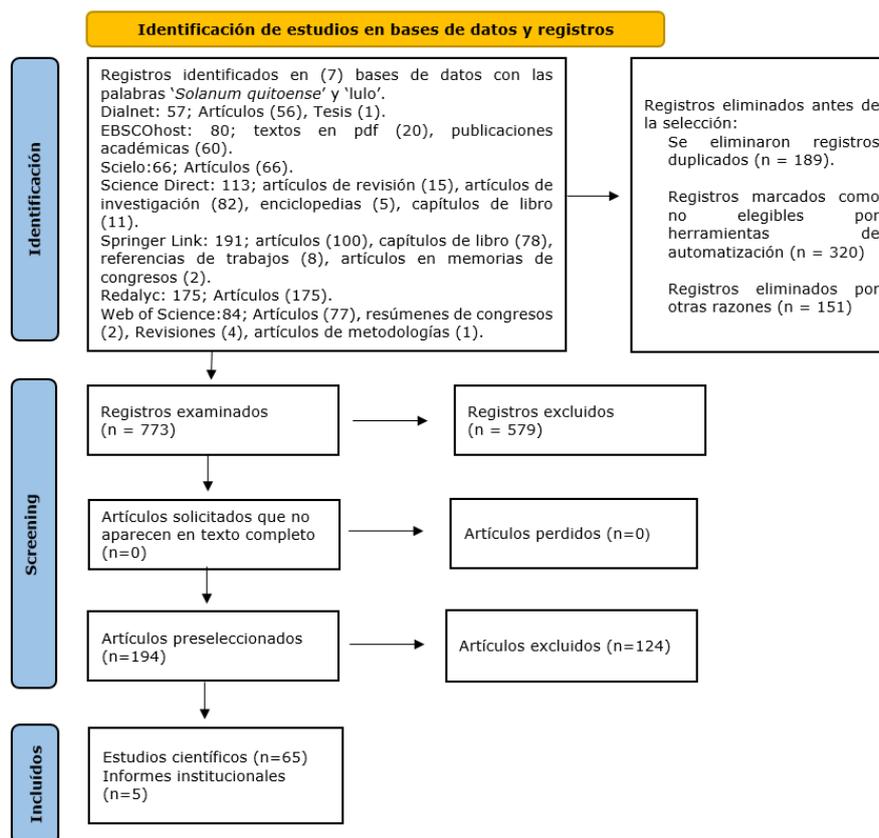


FIGURA 1
Análisis de la revisión de literatura realizada.
autores

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Botánica

El lulo o naranjilla pertenece a la familia Solanaceae, genero Solanum, la cual se considera uno de los grupos más grandes de angiospermas (Ramírez et al., 2018). Se le conoce comúnmente como lulo, naranjilla, tomate chileno o toronja (Lim, 2013), y comprende entre 11 y 13 especies, de las cuales ocho se encuentran en Colombia (Ligarreto, 2012).

Las plantas de lulo alcanzan una altura de 2 m a 2,5 m (Ramírez et al., 2018), y presentan un sistema radicular pivotante, raíces secundarias laterales que pueden penetrar en el suelo hasta los 50 cm (Gómez-Merino et al., 2014). Además, presenta tallos robustos, semileñosos, con ramas laterales cilíndricas. Las hojas tienen una longitud de 0,45 m y un ancho de 0,35 m, son ovaladas de color verde oscuro con venas visibles de color morado o verde en el haz y tonalidades moradas en el envés (Ardila et al., 2015). Algunas variedades pueden desarrollar o no espinas, como la variante quitoense, la cual no tiene espinas y es sembrada en el Sur de Colombia, Ecuador y Perú (Bernal y Franco, 2017; Ramírez, 2021).

El lulo presenta numerosos tricomas en las hojas, tallos, yemas y cáliz de la flor. Las flores son blancas de 4 a 5 cm de ancho, agrupadas en corimbos (Bonnet & Cárdenas, 2012). Los corimbos se encuentran en inflorescencias, con flores estaminadas y hermafroditas las cuales se encuentran en diferentes posiciones dentro de las inflorescencias (Ramírez et al., 2018). Sus flores son de color blanco con cinco sépalos y cinco pétalos, y en una misma inflorescencia se pueden apreciar tres tipos de flores: pistilo corto, medio y largo (Ovalle, 2020).

El fruto es una baya globosa con diámetros aproximados de 5 a 8 cm, el color de la corteza varía según el estado de madurez de este, de amarillo a naranja, y presenta vellosidades. La pulpa es de color verde oscuro (Silva et al., 2016) y tiene entre 400 a 800 semillas (González-Loaiza et al., 2014). Existe una relación estrecha entre el peso, la masa del fruto y la masa de la semilla; por lo tanto, es importante una buena polinización para la obtención de frutos de buen tamaño (Ovalle, 2020).

Según la escala Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie (BBCH) para lulo, reportada por Ramírez & Davenport (2020), el cultivo de lulo puede dividirse en ocho estados fenológicos, los cuales son: germinación de semillas (0 a 5 semanas), desarrollo de hojas, formación de brotes laterales (6 a 26 semanas), emergencia de inflorescencias, floración (27 a 33 semanas), desarrollo de fruto, maduración de fruto (34 a 58 semanas) y senescencia de la planta (a los 2 años aproximadamente sin podas de renovación). Cabe resaltar que el cultivo de lulo, una vez alcanza el pico de producción de la primera cosecha, entra en un receso para luego reiniciar la fase reproductiva, la cual dura nuevamente entre 10 y 11 meses.

Ecofisiología

Las condiciones ecofisiológicas son uno de los principales factores para el éxito de cualquier cultivo, ya que pueden afectar procesos como la transpiración, fotosíntesis y la producción en general. La fenología del lulo está influenciada por factores ambientales como la temperatura, altitud y precipitación (Ramírez et al., 2018). El lulo se cultiva entre los 1600 y 2400 msnm con un óptimo de 1800 msnm (Paull & Duarte, 2012; Fischer et al., 2021), no obstante, en los Andes de Ecuador crece en regiones con buena humedad y zonas sombreadas entre los 800 y 1400 msnm (Andrade-Cuvi et al., 2016). En altitudes superiores a los 2.450 msnm la planta de lulo sintetiza más antocianinas en sus hojas, tallos y flores, y los pigmentos como el caroteno y el luteno se incrementan en los cloroplastos como sustancias protectoras contra la luz ultravioleta (Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012).

La temperatura es uno de los factores más limitantes que influye en el crecimiento y rendimiento en árboles frutales. El lulo crece bien en climas fríos moderados, en un rango de temperatura que debe oscilar entre 15 y 24 °C (Paull & Duarte, 2012). Como temperatura base (mínima) para la aparición de nudos en los tallos del lulo se encontraron, según Pulido et al. (2008), los 9,6 °C; mientras que Cruz et al. (2007) registraron la acumulación de unidades térmicas por encima de los 8 °C como el umbral de crecimiento para *S. quitoense* f. *septentrionale*. Debe tenerse en cuenta que la variedad *S. quitoense* var. *quitoense* prefiere altitudes entre 1600 y 2000 msnm, y la var. *septentrionale* entre 1900 y 2500 msnm (Bonnet & Cárdenas, 2012). Por lo que la primera variedad (sin espinas) está mejor adaptada a temperaturas más altas. Por otro lado, las plantas solanáceas de clima frío moderado y de clima frío (como el lulo y la uchuva, respectivamente) se desarrollan más rápido en un clima de mayor temperatura porque así la edad fisiológica de la planta aumenta, conllevando a cosechas más tempranas y mayores que en un clima más frío. Sin embargo, la longevidad del cultivo disminuye (Fischer et al., 2007).

El lulo se asemeja a una planta de días cortos, que exhibe su mejor desarrollo en sitios sombreados con humedades relativas cercanas al 80 %; sin embargo, se ha encontrado un desarrollo del fruto más rápido en condiciones europeas de día largo (Messinger & Lauerer, 2015). Requiere suelos con una profundidad efectiva de 50 a 75 cm (Ardila, 2015), con alta retención de humedad y buen drenaje (Medina et al., 2009); además, estos deben tener tamaños de partícula dominantes franco-arenosa a arcillosa y pH de 5,5 a 6,5, con pendientes menores al 40 % (Morillo et al., 2019). El lulo, al comportarse mejor bajo sombrero, es una planta que puede presentar modificaciones en la capacidad fotosintética cuando se encuentra a libre exposición, ya que, si la intensidad lumínica aumenta, el exceso de radiación solar puede causar fotoinhibición (Sogamoso, 2020). Según Cruz et al. (2007), las tasas de crecimiento para hojas y tallos son en promedio de 6 y 54 mg por Grado Día Calor (GDC), respectivamente, y la tasa de producción de botones es de 0,037006 botones por cada GDC.

Una plantación de lulo tiene un requerimiento hídrico relativamente alto, entre 1800 y 3000 mm de lluvia bien distribuida durante el año, lo que corresponde a una lámina de agua de 4 a 6 mm día⁻¹ o a 4 a 6 L de

agua, aproximadamente, por planta diariamente (Bonnet & Cárdenas, 2012). Esta cantidad de agua puede ser aportada por diferentes sistemas de riego, de los cuales se recomienda emplear el sistema de riego por goteo (utilizando goteros de 4 L h⁻¹ y 2 goteros por planta), con el fin de evitar encharcamientos, facilitar la programación del riego y mantener los contenidos de humedad cercanos al punto de capacidad de campo. Al respecto, Sogamoso (2020) encontró que el potencial hídrico de las hojas es superior en las horas de la mañana y desciende hacia el medio día en todos los tratamientos evaluados, de tal forma que son las horas de medio día en las que hay máximo estrés y mayor transpiración de las hojas. Por otra parte, el viento es uno de los factores que más influye en los frutales, y para una óptima producción en el cultivo de lulo se deben tener vientos menores de 5 km hora⁻¹, debido a que cuando se superan estas velocidades se afectan procesos de carácter fisiológico y mecánico en la planta (Morillo et al., 2019).

Propagación

Se deben escoger plantas madre de óptima calidad y producción para tener buenas semillas y material vegetal. La propagación por semilla es ampliamente utilizada para la reproducción, ya que es el método más eficiente porque genera plantas con mayor desarrollo, anclaje y altura (Balaguera-López et al., 2020); no obstante, genera segregación genética, la cual causa bajas uniformidades fenotípicas. La desinfección de las semillas se puede realizar con productos orgánicos o productos químicos como el carboxin + captan 2 g kg⁻¹ de semilla (Bonnet & Cárdenas, 2012).

Para la propagación por estacas o yemas, se deben tomar los brotes laterales que emergen en las axilas de las hojas de ramas de segundo año (chupones), y cortar los esquejes 1 o 2 cm por debajo o por encima de la yema para que tengan una longitud de 20 cm. En la siembra es recomendable la inmersión de los esquejes en hormonas que favorezcan el enraizamiento, como las auxinas; asimismo, los esquejes se deben mantener con sombra de 50 % a 75 % y riego frecuente (Bonnet & Cárdenas, 2012). Al respecto, Schneiders (2019) menciona que el uso de ácido indolbutírico (AIB) en dosis de 1 a 2 g L⁻¹ (durante 5 a 10 segundos) mejoró la tasa de supervivencia de las estacas y fomentó el enraizamiento.

Respecto a los sistemas de injerto, los sistemas más comunes son de púa terminal, de aproximación y de escudete (Ardila et al., 2015). Al respecto, Arizala et al. (2011) encontraron que los mejores injertos fueron los de púa de *Solanum hirtum* y *Solanum marginatum* con 92 % y 96 % de prendimiento. *S. hirtum* tuvo el mejor comportamiento en cuanto a las variables altura de planta, número de ramas, número promedio de frutos y rendimiento, en comparación con el testigo *S. quitoense* y *S. marginatum*. No obstante, Criollo-Escobar et al. (2020) señalan que el rendimiento no se vio afectado por la utilización de diferentes patrones de lulo. Además, Navarrete et al. (2018) demostraron que al utilizar *S. hirtum* como portainjerto, las plantas de lulo son resistentes a *Meloidogyne incognita*.

En la propagación *in vitro*, por su parte, se toman meristemos de los ápices de una planta para sembrarlos en un medio nutritivo que se requiere que las plantas obtenidas se encuentren libres de plagas y enfermedades (Bonnet & Cárdenas, 2012). Al respecto, Duarte-Hernández et al. (2014) observaron que la producción de biomasa fue más abundante a partir de explantes de tallo, en comparación con la de hojas y peciolo, cuando se aplicó una dosis 1 mg L⁻¹ de ácido naftalen acético (del mismo modo, afirman que la mayor proporción de compuestos volátiles se da en los primeros estados fisiológicos de los callos). Hay que anotar que los materiales híbridos, como el lulo 'La Selva', deben propagarse por estacas, hijuelos y cultivo de tejidos vegetales *in vitro* (Gómez-Merino, 2014).

Nutrición

La preparación del terreno se realiza dos meses antes de establecer el cultivo, aplicando cal en dosis de 250 a 300 g por planta (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015) y materia orgánica a 40 cm de profundidad en cantidades de 4000 a 5000 kg ha⁻¹, fraccionada en tres o cuatro aplicaciones durante el año. Cabe resaltar que la materia orgánica constituye un amortiguador de nutrientes en el suelo, mejora la estructura, incrementa la aireación y facilita el crecimiento de las raíces (Bonnet & Cárdenas, 2012). Así mismo, Bonnet & Cárdenas

(2012) recomiendan la aplicación de 135, 86, 126, 9, 4, 4 y 5 g planta⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, Fe, Zn, B y S, respectivamente, distribuidos a lo largo del año en seis aplicaciones cada dos meses. No obstante, Franco et al. (2002) manifiestan que se deben aplicar 50 g por planta de N, P y K (10, 30, 10, respectivamente), y 1 a 2 kg por planta al momento de la siembra, seguido de dos aplicaciones de 100 g por planta de N, P, K y Mg (13, 26, 10, 3, respectivamente), a los tres meses después del trasplante (ddt) y previo a la floración.

Viera et al. (2021) reportan en cultivos sembrados en la amazonía ecuatoriana que la ausencia en la fertilización de N, P, K y Ca, disminuye la producción de frutos en las plantas de lulo en un 22 %, 21 %, 13,8 % y 7,9 %, respectivamente. Además, cuando se aplicaron todos los elementos nutritivos y también cal, los frutos de las plantas de lulo mostraron mayor contenido de azúcares y menor acidez (Vargas et al., 2020). Del mismo modo, Aguilera-Arango et al. (2019) indican que se debe aplicar boro en cantidades de 30 g por planta cada 6 meses, desde el inicio del cultivo. Medina et al. (2009) reportan que las concentraciones altas de N conducen a un rendimiento elevado y a una mayor área foliar en las plantas de lulo, mientras que el potasio está relacionado con el desarrollo del follaje. Así mismo, Vargas-Bolívar et al. (2009) encontraron que, al suprimir el Mg de la solución de nutritiva, la altura de las plantas de lulo presentó fuertes disminuciones.

Cabezas et al. (2002) y Angulo (2006) señalan que el lulo es muy susceptible a deficiencias en boro, magnesio y manganeso, y que el fósforo es el causante de retrasos en el crecimiento y maduración de los frutos ya que este elemento es considerado como responsable de malformaciones en las semillas. Por otro lado, Vargas-Bolívar et al. (2009) observaron que las plantas de lulo presentan una susceptibilidad importante a las carencias de Mn, Mo y Cu y sus síntomas de deficiencias son claramente visibles, del mismo modo, estos autores señalan que el azufre resulta importante en el lulo para la formación de la clorofila y para la generación de un sistema radicular vigoroso.

Gómez-Merino et al. (2014) encontraron que las compostas pueden ser usadas en la producción de plántulas de lulo, combinadas con turba, en proporciones no mayores a 60% en el sustrato. Del mismo modo, Ramírez-Builes y Naidu (2010) demostraron que la gallinaza fresca presentó mejores rendimientos que los abonos bocashi a partir de lombrinaza y pulpa de café, y que estos últimos presentaron rendimientos similares a la fertilización química.

El cultivo de lulo responde muy bien a la fertilización foliar, en especial después del quinto mes de iniciar la plantación con aplicaciones cada 40 días. Las fertilizaciones se deben realizar por debajo de las hojas y se recomienda la adición de surfactante para permitir al fertilizante hacer contacto con la lámina foliar, ya que los tricomas de las hojas impiden la penetración del fertilizante (Medina et al., 2009). Al respecto, Flórez-Velasco et al. (2015) encontraron que las aplicaciones foliares de N en plantas de lulo sometidas a inundación disminuyen los efectos negativos del anegamiento, debido a que se incrementa la concentración de clorofila en las hojas, y también concluyeron que la aplicación de altos contenidos de nitrógeno (110 mg L⁻¹) se vio reflejada en un crecimiento más vigoroso de las plantas.

Poda

La poda consiste en la modificación de los ejes de crecimiento de la planta (Ardila, 2015), la cual se realiza con miras a mejorar la arquitectura y hacer más eficiente la captación de radiación solar y los procesos de fotosíntesis (Miranda, 2012). Casierra-Posada y Fischer (2012) mencionan que la poda se hace para orientar la actividad vegetativa de la planta hacia un fin, sea floración, fructificación, sombra, protección u ornamento. La ejecución de las podas implica el conocimiento, por parte de los operarios, del comportamiento fisiológico y la fenología de la planta para garantizar el éxito de la labor, evitando malformaciones en las plantas, el ingreso de patógenos y desórdenes fisiológicos (Ardila, 2015). Esta labor se debe realizar con frecuencia para obtener mayor penetración de aire y luz, y así evitar la propagación de plagas y enfermedades (Bonnet & Cárdenas, 2012).

Tipos de podas

Poda de formación

Consiste en un despunte del tallo principal a una altura entre 15 y 20 cm de altura, eliminando los rebrotes basales (Miranda, 2012). Se retiran todos los chupones hasta llegar a tener cuatro ramas de cada lado con una altura aproximada de 1,7 a 2,0 m (Bonnet & Cárdenas, 2012). Después de esta poda, el tallo principal debe quedar de 50 cm. La poda de formación se basa en la pérdida de la dominancia apical y es, quizás, una de las actividades más importantes para el cultivo de lulo, dado que determina el porte, tamaño y capacidad de producción (Ardila et al., 2015). De igual modo, al podar la planta y dejarla con 4 o 5 tallos y 40 racimos de flores se produce el rendimiento más alto de frutos: 53,8 y 53,9 t ha⁻¹, respectivamente. Lo que implica un mayor valor comercial de la producción, comparado con un menor número de tallos y racimos florales (Ardila et al., 2015).

Poda de renovación

Consiste en el corte de las ramas superiores carentes de frutos y que tengan más de 1,5 m. La planta solo queda con 2 a 4 ramas para que se desarrollen los nuevos brotes y así favorecer la producción en las ramas jóvenes. Esta poda se realiza principalmente al inicio del periodo de lluvias (Bonnet & Cárdenas, 2012).

Poda de mantenimiento

Se podan las ramas excesivamente largas e improductivas, y las que están mal ubicadas en la planta (Miranda, 2012). Se eliminan todas las hojas que vayan en dirección al centro de la planta, las amarillas y las que tengan incidencia de ataques de insectos. Las hojas bajas se retiran cuando el fruto ya está formado e inicia el proceso de maduración. Así mismo, se deben retirar los pedúnculos que quedan en el racimo cuando este ya es cosechado (Bonnet & Cárdenas, 2012).

Poda sanitaria

Se realiza con el fin de eliminar las partes dañadas de la planta (flores, frutos y ramas). Los cortes deben realizarse por debajo de la zona de ataque y es recomendable utilizar un protectante (cicatrizante) cuando el corte tenga un diámetro mayor a 1 cm (Bonnet & Cárdenas, 2012). La poda sanitaria puede aumentar la producción en los frutales y es una práctica necesaria para mejorar la calidad de los frutos, debido a la eliminación del exceso de yemas florales, lo cual incrementa el crecimiento de nuevos brotes con yemas y garantiza una mejor distribución de los fotoasimilados para el crecimiento de los frutos. Las plantas sin poda producen pocos frutos y de baja calidad (Ardila et al., 2015).

Fotosíntesis y Transpiración

La fotosíntesis es uno de los procesos más importantes para la fisiología de las plantas (Cardona et al., 2016). En este proceso, las hojas se consideran órganos especializados en interceptar la radiación fotosintéticamente activa (RFA). Para el proceso de fotosíntesis es necesario el abastecimiento de agua por parte de los haces vasculares y la toma de CO₂ a través de las estomas (Ardila, 2015). La planta de lulo es considerada una planta con fotosíntesis tipo C₃, por lo cual suele presentar tasas de fotosíntesis bajas en comparación con otras plantas (como las C₄). Respecto a lo anterior, las hojas de muchas especies C₃ son incapaces de aprovechar luz adicional por encima de un flujo fotónico de 500 μmol m⁻²s⁻¹ (Ardila et al., 2015).

Cardona et al. (2016) encontraron diferencias significativas en la reducción de la biomasa seca total y de los órganos de la planta, cuando las plantas de lulo fueron sometidas a un sombrío del 65 %; lo que refleja la importancia de la luz en la producción de biomasa a través de la fotosíntesis y la posterior translocación de los fotoasimilados. Ardila (2015) observó que la fotosíntesis neta del cultivo de lulo varió de 5,52 a 34,03 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹ a los 398 y 460 ddt, cuando se presentaron radiaciones fotosintéticamente activas alrededor de 350 y 900 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹, respectivamente. De igual forma, Medina et al. (2006) obtuvieron valores de fotosíntesis neta con promedios cercanos a los 8 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹ durante los primeros 84 ddt. Al respecto, Flórez-Velasco et al. (2015) dicen que la eficiencia máxima del fotosistema II (Fv/Fm) en el cultivo de lulo oscila entre 0,55 y 0,65 para plantas sin y con aplicación de nitrógeno foliar, respectivamente; así mismo, afirman que (en condiciones de inundación) la eficiencia fotosintética del cultivo de lulo siempre estuvo por encima de 0,7. Por otro lado, Sánchez-Reinoso et al. (2019) encontraron que las plantas del lulo sufren

más por estrés de anegamiento que por el sombrío, registrando una reducción del contenido relativo de agua (CRA) en plantas anegadas de 6 y 9 días, con daños del fotosistema II a partir del tercer día de la aplicación de tratamientos. Además de la disminución del contenido de clorofilas.

Medina et al. (2006) encontraron que los valores de clorofila a, clorofila b y clorofila total para plantas de lulo son mayores en plantas en etapa de trasplante (4,24; 1,14 y 4,33 mg g⁻¹ de masa fresca, respectivamente) que en producción (1,66; 0,58 y 2,98 mg g⁻¹ de masa fresca, respectivamente), lo cual se atribuye a que las plantas en la fase de trasplante tienen una reducida área fotosintética con altas concentraciones de clorofila. Igualmente, Flórez-Velasco et al. (2015) obtuvieron valores de clorofila a, clorofila b y clorofila total de 2,2; 1,0 y 3,1 mg g⁻¹ de masa fresca, respectivamente, en plantas de lulo con aplicaciones de N foliar.

En cuanto a la transpiración, Medina et al. (2006) reportan que esta varió de 4,5 a 2 μmol de H₂O m⁻² s⁻¹, desde los 32 a los 252 ddt, y asocian este descenso a un cierre de estomas y a las variaciones climáticas presentadas en la etapa de producción. Además, afirman que esta alta transpiración está relacionada con altos valores de RFA y aumentos en la temperatura ambiental. Flórez-Velasco et al. (2015) reportan que la inundación redujo la transpiración en plantas de lulo en un 40 %, y las plantas que reciben altas cantidades de N foliar (110 mg L⁻¹ N) transpiran más que las plantas que reciben bajas aplicaciones (10 mg L⁻¹ N). También mencionan que la inundación redujo la conductancia estomática en un 27,3 % y encontraron que las plantas con alta aplicación de N foliar tuvieron mayor conductancia estomática (215 mmol m⁻² s⁻¹) que las que recibieron bajos niveles de N foliar (70 mmol m⁻² s⁻¹).

Floración

La inducción floral es un evento fisiológico que ocurre en las plantas y comienza con el desarrollo de brotes. La planta de lulo fructifica durante todo el año, lo que ocasiona la producción de brotes vegetativos, botones florales, flores y frutos de distintos tamaños al mismo tiempo (Gómez-Merino, 2014). De igual forma, puede generar más de 1.000 flores durante su vida y solo del 5 % al 10 % llegan a producir frutos (Ramírez et al., 2018). La formación de botones florales se da a los 100 ddt, mientras que la duración del periodo de yema floral hasta anthesis es de cinco semanas generalmente (Ramírez & Davenport, 2018). Así mismo, Messinger & Lauerer (2015) sostienen que el fotoperiodo afecta el desarrollo floral, ya que, en plantas cultivadas en días largos, el tiempo desde yema hasta cuajado fue menor.

Polinización

Ramírez et al. (2018) mencionan que los granos de polen varían en tamaño de 10 a 21 μm y que la polinización en el cultivo de lulo es realizada por el viento y algunos insectos como abejas (*Euglossa* spp. y *Eulaema* spp.) y abejorros (*Bombus* spp.) (Ramírez et al., 2018). La polinización cruzada es muy importante para la producción de frutos en plantas de lulo, ya que estos tendrán más semillas. Así mismo, en especies *Solanum*, la polinización se da por vibraciones (Almanza-Fandiño, 2007), ya que estas facilitan la liberación del grano de polen (Messinger et al., 2016).

Messinger et al. (2016) encontraron un impacto significativo en el cuajado del fruto de *S. quitoense*, aproximadamente del 85 %, con la polinización de abejorros (*Bombus terrestris*); en comparación con las flores polinizadas manualmente. Además, Messinger (2017) sugiere que se debe fomentar las visitas múltiples de *B. terrestris* con el fin de aumentar la eficiencia de la polinización. Del mismo modo, Guerrero (2019) observó que es mayor el número de flores que poseen estilo corto (71 %), en comparación a las flores de estilo largo (29%), lo cual dificulta la polinización, ya que las flores de estilo largo poseen un porcentaje de cuajado que duplica a las flores de estilo corto (Ramírez et al., 2018).

Desarrollo, madurez y cosecha de los frutos

El desarrollo y crecimiento de los frutos de lulo sigue una tendencia de curva tipo sigmoide simple, determinado por tres importantes procesos: la división celular, el alargamiento celular y la maduración del fruto. Esta última fase caracterizada por un limitado aumento del tamaño (Fischer et al., 2012). Respecto a lo anterior, Ochoa-Vargas et al. (2016) identificaron tres fases de crecimiento bien diferenciadas: primero,

una de crecimiento lento, hasta 80 días después de anthesis (dda); luego, una etapa de crecimiento rápido que termina a los 160 dda; y la fase de maduración, la cual finaliza con la cosecha, en la que ocurre un mínimo crecimiento. Esto es similar a lo reportado por Almanza-Merchán et al. (2016) con frutos de lulo de los ecotipos 'chonto grueso' y 'criollo'.

Con relación lo anterior, Mejía-Doria et al. (2014) reportan que la mayor actividad de la enzima polifenol oxidasa ocurre durante los estadios de maduración 1 y 5 del fruto, clasificados acorde a la NTC 1265 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec], 2001). Esto puede estar originado por procesos de división celular, así como por el aumento de la intensidad respiratoria cuando el fruto se acerca al climaterio. El fruto en su madurez es característico por el color naranja (Guerrero, 2019) y un aroma dulce caracterizado por la concentración de ésteres de acetato y hexanoato, los cuales son compuestos volátiles que aumentan hasta seis veces durante el proceso de maduración (Corpas et al., 2018). Asimismo, se ha demostrado que el proceso de liofilización es el método que mejor conservó y retuvo los compuestos volátiles del lulo (Forero et al., 2015).

La planta de lulo comienza la producción entre los 8 y 12 meses después de ser trasplantada (Gómez-Merino et al., 2014). Se reportan rendimientos promedio de 8,5 t ha⁻¹ al aire libre (Ardila et al., 2015) y de hasta 14,3 t ha⁻¹ en materas bajo condiciones semicontroladas (Viera et al., 2021). El estado de madurez óptimo para la cosecha del fruto de lulo se alcanza en el momento en que la planta se encuentra en su estado reproductivo por completo, a las 34 semanas aproximadamente (Martínez-González et al., 2018). De forma similar, Criollo-Escobar et al. (2020) mencionan que las plantas de lulo alcanzan la apertura floral, anthesis, llenado de fruto y madurez a los 561, 715, 801 y 2462 grados día, respectivamente. Del mismo modo, se recomienda realizar la cosecha de forma periódica para evitar la caída y pérdida de frutos, los cuales deben ser recolectados de acuerdo al color de la epidermis en estado pintón (Bonnet & Cárdenas, 2012), cuando el fruto presente una coloración naranja de aproximadamente el 30 %, un diámetro que oscile entre 6 y 12 cm y una firmeza rígida, además de que el fruto no debe presentar daños por insectos o enfermedades (Ovalle, 2020).

Según Casierra-Posada et al. (2004), los factores que determinan una menor pérdida de masa en la poscosecha de frutos de lulo son: la relación área superficial/volumen, la naturaleza de la pared del fruto y el estado del fruto. En la variedad botánica *Quitoense*, la naturaleza y la composición de la pared del fruto inducen una mayor pérdida de agua por transpiración que en la variedad *Septentrionale*. Trujillo & Suárez (2010) observaron que el área superficial del fruto disminuyó de forma gradual, debido a la transpiración durante el almacenamiento, y varió de 37,21 a 16,80 cm². Al respecto, Forero et al. (2014) encontraron que el uso de la hoja de plátano, como empaque de los frutos de lulo, disminuyó la pérdida de masa en poscosecha y retrasó el cambio de coloración de verde a naranja.

Almanza-Merchán et al. (2016) determinaron la masa de los frutos de lulo en el momento de la cosecha, obteniendo valores de 80 y 73,3 g para los ecotipos 'chonto grueso' y 'criollo'; así mismo, estudios para la variedad 'Septentrionale' cultivada en San Antonio del Tequendama, encontraron valores de 209 g (Ochoa-Vargas et al., 2016), superiores a los 140 g para la variedad 'Lulo de Castilla' estudiada por Molano-Díaz et al. (2022). Del mismo modo, Lagos-Santander et al. (2019) registraron que los materiales de lulo B1 y B2 × B8 alcanzaron promedios de masa de frutos de 92,03 y 112,97 g, respectivamente, similar a los 114 y 111 g encontrados por Gonzalez-Loaiza et al. (2014). Así mismo, en Ecuador, Silva et al. (2016), al evaluar diferentes cruzamientos de lulo, encontraron masas promedio de frutos que oscilaron entre 108 y 134 g y una media de frutos cosechados por planta que varió de 22 a 36.

Por otra parte, la firmeza de los frutos de lulo presentó valores de 82,67 N a los 100 dda y al momento de la cosecha (110 dda), alcanzando así 58 N (Almanza-Merchán et al., 2016). Estos valores son similares a los reportados por Ochoa-Vargas et al. (2016) de 114 N (80 dda) y 52 N en la cosecha, y a los 105 N observados por Molano-Díaz et al. (2022) para frutos recién recolectados. En cuanto al color, Acosta et al. (2009) midieron valores de 40, 7,8 y 40, mientras que Molano-Díaz et al. (2022) reportan 56,2 10,8 y 46,8

para los parámetros L^* , a^* y b^* , respectivamente. Así mismo, Molano-Díaz et al. (2018) encontraron que al aplicar 1-MCP al momento de la cosecha, la intensidad respiratoria de los frutos de lulo disminuyó; por otra parte, Ochoa-Vargas et al. (2016) reportan valores promedio en la cosecha de $13,91 \text{ mg de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Morillo et al. (2019) evaluaron las propiedades fisicoquímicas del fruto de lulo y estimaron el contenido de sólidos solubles totales (SST), resultando en un promedio de $13,6^\circ \text{Brix}$, superior a los $8,5^\circ \text{Brix}$ reportados por Igual et al. (2014). Al respecto, Ochoa-Vargas et al. (2016) mencionan que durante la maduración de los frutos aumentan los SST, mientras que la acidez total titulable (ATT) se incrementa solo al final de la maduración. Este aumento en los SST es atribuido a un incremento en la actividad de la sacarosa enzima fosfato sintasa (SPS), que es responsable de hidrolizar los gránulos de almidón (Martínez-González et al., 2018), así como también, del aumento en la actividad de la poligalacturonasa, pectinmetilesterasa y pectatoliasa (Rodríguez y Restrepo, 2011). Del mismo modo, Almanza-Merchán et al. (2016) encontraron que los frutos de lulo aumentaron los valores de ATT conforme el fruto iba madurando, al pasar de $1,04\%$ (70 dda) a $3,61\%$ (140 dda) para el ecotipo criollo, y de $0,4\%$ (70 dda) a $3,84\%$ (140 dda) para el ecotipo 'chonto grueso'; mientras que Ochoa-Vargas et al. (2016) y Arizala et al. (2011) midieron valores de ATT que alcanzaron $4,05\%$ y $3,2\%$ respectivamente, al momento de la cosecha en los frutos de lulo.

Morillo et al. (2019) determinaron los valores de pH para los lulos cultivados en Pachavita, los cuales oscilaron entre 2,4 y 3,5, con un promedio general de 3,3. Eso indica que los frutos colectados en el municipio de Pachavita (Boyacá-Colombia) en su gran mayoría son agrídulces. Valores similares de pH han sido encontrados por González-Loaiza et al. (2014) quienes reportan variaciones de 2,89 a 2,94 a medida que incrementa el grado de madurez. Además, Andrade-Cuvi et al. (2015) observaron que los frutos maduros tienen valores mayores de fenoles ($6,2 \text{ mg g}^{-1}$) que los frutos inmaduros, así como también mayor actividad antioxidante. El índice de madurez de los frutos de lulo pasó de $1,83 \pm 0,32$ (M1: verde entre 75 % y 100 %) a $2,26 \pm 0,26$ (M2: 50 % verde) y luego a $2,84 \pm 0,38$ (M3: entre 0 % y 15 % verde) para cada uno de los estados de madurez especificados. En estos estados ocurren los principales cambios en las características químicas que afectan algunas propiedades organolépticas (González-Loaiza et al., 2014).

Es necesario garantizar un buen manejo poscosecha que permita la conservación de la calidad de los frutos obtenida en condiciones de campo, con el fin de disminuir las pérdidas durante el almacenamiento y comercialización, ya que estas son muy altas y llegan a alcanzar valores que oscilan entre 10 % y 30 % de la producción (Forero-Cabrera et al., 2017). Los frutos de lulo se clasifican como climatéricos, por lo tanto, una vez son separados de la planta continúan los procesos inherentes a la maduración en condiciones favorables durante la etapa posterior a la cosecha. Es por esto que las labores de recolección deben ser planeadas con anticipación y se deben tener en cuenta los requerimientos del mercado y los tiempos de transporte hacia los centros de mercadeo, distribución y comercialización (Martínez-González et al., 2018).

4. CONCLUSIONES

La propagación por semilla es la más utilizada en el cultivo de lulo, ya que presenta un mayor desarrollo, mayor anclaje y mayor altura de la planta, sin embargo, genera segregación genética, la cual origina una baja uniformidad fenotípica. La poda de plantas de lulo es una práctica necesaria para mejorar la calidad de los frutos en cultivos comerciales, en los cuales dejar 4 a 5 tallos y 40 racimos florales por planta genera las mejores cosechas. Es importante una buena polinización para la obtención de frutos de buen tamaño, por lo que se recomienda la polinización con abejorros por las vibraciones que éste produce.

El potencial hídrico en las plantas de lulo es superior en las horas de la mañana y desciende al medio día. En altitudes por encima de los 2.450 msnm el cultivo de lulo sintetiza más antocianinas en sus hojas, tallos y flores. Las plantas requieren alta fertilización de nitrógeno y materia orgánica. El crecimiento de los frutos sigue una tendencia de curva tipo sigmoide simple. En la cosecha se pueden encontrar lulos que varían de

73 a 209 g de masa fresca, con firmezas promedio de 58 N y valores de 56,2, 10,8 y 46,8 para los parámetros de color L*, a* y b*, respectivamente, valores que dependen de la variedad, las condiciones climáticas y del manejo del cultivo.

LITERATURA CITADA

- Acosta, O., Pérez, A. M. & Vaillant, F. (2009). Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) cultivated in Costa Rica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(1), 88-94.
- Agronet (2021). Área cosechada, producción y rendimiento de lulo año 2017. https://www.agronet.gov.co/Documents/22-LULO_2017.pdf
- Aguilera-Arango, G. A., Bernal-Estrada, J. A., Franco, G., Tamayo-Vélez, A., Díaz-Montaño, J., Díaz-Díez, C. A., Saldarriaga-Cardona, A., Vásquez-Gallo, L. A. & Henao-Rojas, J. C. (2019). *Prácticas de manejo sostenible para el cultivo de lulo*. Agrosavia. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35030>
- Almanza-Fandiño, M. T. (2007). Management of *Bombus atratus* bumblebees to pollinate lulo (*Solanum quitoense* L.), a native fruit from the Andes of Colombia. Cuvillier Verlag.
- Almanza-Merchán, P. J., Velandia, J. D. & Tovar, Y. P. (2016). Propiedades fisicoquímicas durante el crecimiento y desarrollo en dos variedades de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 222-231. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5065>
- Andrade-Cuvi, M. J., Moreno-Guerrero, C., Guijarro-Fuertes, M. & Concellón, A. (2015). Caracterización de la naranjilla (*Solanum quitoense*) común en tres estados de madurez. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 215-221. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81343176010>
- Andrade-Cuvi, M. J., Moreno-Guerrero, C., Bravo-Vásquez, J., Guijarro-Fuertes, M., Monar-Bósquez, V., Cevallos-Navarrete, C. & Concellón, A. (2016). Efecto del estado de madurez sobre la calidad de tres variedades de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(2), 217-230. <https://www.redalyc.org/journal/813/81349041008/html/>
- Angulo, R. (2006). *Lulo: el cultivo*. Biblioprinter Ltda.
- Ardila, G. (2015). *Efecto de la poda de formación y del número de tallos y racimos sobre la producción y calidad de frutos de lulo (Solanum quitoense var. septentrionale)* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/54818>
- Ardila, G., Fischer, G. & García, J. C. (2015). La poda de tallos y racimos florales afecta la producción de frutos de lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 24-37. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3743>
- Arizala, M., Monsalvo, A., Betancourth, C., Salazar, C. & Lagos, T. (2011). Evaluación de solanáceas silvestres como patrones de lulo (*Solanum quitoense* Lam) y su reacción a *fusarium* sp. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(1), 147-160.
- Balaguera-López, H. E., Fischer, G. & Magnitskiy, S. (2020). Seed-fruit relationships in fleshy fruit species: Role of hormones. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(1), 90-103. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i1.10921>
- Bernal, J. & Franco, G. (Eds.). (2017). *El Cultivo de Lulo bajo la implementación de buenas prácticas agrícolas - BPA*. Secretaria de agricultura y desarrollo rural de Antioquia.
- Bonnet, J. & Cárdenas, J. (2012). Lulo (*Solanum quitoense* Lam.). En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 600-626). Produmedios.
- Cabezas, M., Botía, T. & Medina, L.M. (2002). Determinación de síntomas de deficiencia inducida de nutrimentos en lulo (*Solanum quitoense* Lam.). En M. J. Giraldo y J. P. Higuera (Eds.), *IV Seminario Nacional de Frutales de Clima Frío Moderado*, (pp. 176-181). Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13648>

- Cámara de Comercio de Bogotá (2015). *Manual: lulo*. <https://docplayer.es/35498135-Lulo-programa-de-apoyo-agri-cola-y-agroindustrial-vicepresidencia-de-fortalecimiento-empresarial-camara-de-comercio-de-bogota.html>
- Cardona, W.A., Bautista-Montealegre L.G., Flórez-Velasco, N. & Fischer, G. (2016). Desarrollo de la biomasa y raíz en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*) en respuesta al sombrío y anegamiento. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 53-65. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.5124>
- Casierra-Posada, F. & G. Fischer. (2012). Poda de árboles frutales. En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 169-185). Produmedios.
- Casierra-Posada, F. García, E. J. & Lüdders, P. (2004). Determinación del punto óptimo de cosecha en el lulo (*Solanum quitoense* Lam. var. *quitoense* y *septentrionale*). *Agronomía Colombiana*, 22(1), 32-39. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/17765/18591>
- Corpas, E. C., Taborda, G. & Tabasco, O. (2018). Identification of volatile compound markers during the ripening and senescent of lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 437-442. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2924-x>
- Criollo-Escobar, H., Moncayo-Palacios, M.F. & Lagos-Burbano, T.C. (2020). Phenology and growth of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) plants grafted onto *Solanum hirtum* Vahl. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(3), 291-300. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i3.11005>
- Cruz, P., Acosta, K., Cure, J. R. & Rodríguez, D. (2007). Desarrollo y fenología del cultivo de lulo *Solanum quitoense* var. *septentrionale* bajo polisombra desde siembra hasta primera fructificación. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 288-298.
- Duarte-Hernández, A. M., Núñez, K. M., Pacheco, J. C. & Martínez, J. J. (2014). Compuestos volátiles producidos *in vitro* por callos de *Solanum quitoense* Lam. (*Solanaceae*). *Revista Ciencia en Desarrollo*, 5(1), 49-54.
- Fischer, G., Balaguera-López, H. E. & Magnitskiy, S. (2021). Review on the ecophysiology of important andean fruits: Solanaceae. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1), 1-12. <http://doi.org/10.31910/rudc.a.v24.n1.2021.1701>
- Fischer, G., Ebert, G. & Lüdders, P. (2007). Production, seeds and carbohydrate contents of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits grown at two contrasting Colombian altitudes. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 81(1), 29-35.
- Fischer, G., Ramírez, F. & Almanza-Merchán, P.J. (2012). Inducción floral, floración y desarrollo del fruto. En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp.120-140). Produmedios.
- Fischer, G. & Orduz-Rodríguez, J.O. (2012). Ecofisiología en frutales. En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 54-72). Produmedios.
- Flórez-Velasco, N., Balaguera-López, H.E. & Restrepo-Díaz, H. (2015). Effects of foliar urea application on lulo (*Solanum quitoense* cv. *septentrionale*) plants grown under different waterlogging and nitrogen conditions. *Scientia Horticulturae*, 186, 154-162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.021>
- Forero, D.P., Orrego, C.E., Peterson, D.G. & Osorio, C. (2015). Chemical and sensory comparison of fresh and dried lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit aroma. *Food Chemistry*, 169, 85-91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.111>
- Forero, N. M., Gutiérrez, S., Sandoval, R., Camacho, J. H. & Meneses, M. (2014). Evaluación poscosecha de las características del lulo (*Solanum quitoense*) cubierto con hoja de plátano. *Temas agrarios*, 19(1), 73-85. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.726>
- Forero-Cabrera, N. M., Gutiérrez-Pacheco, S., Rivera-Acosta, J., Silva-Dimaté, A.F. & Sánchez-Sáenz, C.M. (2017). Banana leaf as packaging of lulo for different storage temperatures and the effects on postharvest characteristics. *Agronomía Colombiana*, 35(1), 107-115. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n1.64135>
- Franco, G., Bernal, E. J., Giraldo, M. J., Tamayo, P. J., Castaño, O., Tamayo, A., Gallego, J. L., Botero, M. J., Rodríguez, J. E., Guevara, N. J., Morales, J. E., Londoño, M., Ríos, G., Rodríguez, J. L., Cardona, J. H., Zuleta, J., Castaño, J. & Ramírez, M. C. (2002). *El cultivo de lulo*. Corpoica.

- Gallo, Y., Toro, L.F., Jaramillo, H., Gutiérrez, P.A. & Marín, M. (2018). Identificación y caracterización molecular del genoma completo de tres virus en cultivos de lulo (*Solanum quitoense*) de Antioquia (Colombia). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 281-292. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7692>
- Gaona-Gonzaga, J., Montesdeoca-Espín, D., Brito-Grandes, B., Sotomayor-Correa, A. & Viera-Arroyo, W. (2019). Aprovechamiento de la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) variedad INIAP Quitoense-2009 para la obtención de una bebida carbonatada. *Enfoque UTE*, 10(2), 107-114. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n2.425>
- Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L., García-Albarado, J. C. & Cadeña-Íñiguez, J. (2014) Lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.]) como cultivo novedoso en el paisaje agroecosistémico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (9), 1741-1753. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i9.1061>
- González, D. I., Ordóñez, L. E., Vanegas, P. & Vásquez, H. D. (2014). Cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cosechados en tres grados de madurez. *Acta Agronómica*, 63(1), 11-17.
- Guerrero, O.R. (2019). Establecimiento de un sistema productivo de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) para la conservación de polinizadores en condiciones de Chámeza Casanare [Tesis de pregrado, Universidad de la Salle]. Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/158
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2001). *NTC 1265: Lulo*. <https://pdfcookie.com/documents/ntc-1265-lulo-nj26xx5mrw24>
- Igual, M., Ramires, S., Mosquera, L. H. & Martínez-Navarrete, N. (2014). Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, 256, 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.02.003>
- Lagos-Santander, L. K., Lagos-Burbano, T. C., Duarte-Alvarado, D. E., Criollo-Escobar, H. & Angulo-Ramos, N. F. (2019). Evaluación del rendimiento y calidad del fruto de parentales e híbridos de lulo de Castilla. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2), 1-9. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1344>
- Ligarreto, G. A. (2012). Recursos genéticos de especies frutícolas en Colombia. En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 35-53). Produmedios.
- Lim, T. K. (2013). *Edible medicinal and non-medicinal plants: Volume 6, fruits*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5628-1>
- Martínez-González, A. P., Higuera-Mancipe, B. L. & Martínez-Peralta, S. T. (2018). The influence of lulo (*Solanum quitoense* Lam) fruit maturity stage on polygalacturonase and pectate lyase secretion by *Colletotrichum acutatum*. *Tropical Plant Pathology*, 43, 218-229. <https://doi.org/10.1007/s40858-017-0209-6>
- Medina, C. I., Lobo, M. & Martínez, E. (2009). Revisión del estado del conocimiento sobre la función productiva del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(2), 167-179. https://doi.org/10.21930/rcta.vol10_num2_art:139
- Medina, C. I., Martínez, E., Lobo, M., López, J. C. & Riaño, N. M. (2006). Comportamiento bioquímico y del intercambio gaseoso del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) a plena exposición solar en el bosque húmedo montano bajo del oriente antioqueño colombiano. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*, 59(1), 3123-3146.
- Mejía-Doria, C. M., Gaviria-Arias, D., Bru-Martínez, R., Rengifo-Ramos, L., Alegría-Soto, A. H. & Aguilar-Fernández, E. (2014). Caracterización cinética de la enzima polifenol oxidasa en seis estadios de maduración en lulo (*Solanum quitoense* Lam.) var. Castilla. *Actualidades Biológicas*, 36(101), 107-117.
- Messinger, J. (2017). *Potential of the lulo (Solanum quitoense) as new tropical fruit in Germany: Consumer acceptance and greenhouse cropping* [Tesis doctoral, Universidad de Bayreuth]. EPub Bayreuth. https://doi.org/10.15495/EPub_UBT_00004229
- Messinger, J. & Lauerer, M. (2015). *Solanum quitoense*, a new greenhouse crop for Central Europe: Flowering and fruiting respond to photoperiod. *Scientia Horticulturae*, 183, 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.015>
- Messinger, J., Martini, M. M. F., Rossi, G., Samuels, J. & Lauerer, M. (2016). Successful pollination of the Neotropical crop *Solanum quitoense* by *Bombus terrestris*: Behaviour, efficiency and yield. *Journal of Applied Entomology*, 140(1-2), 124-134. <https://doi.org/10.1111/jen.12237>

- Miranda, D. 2012. Establecimiento de huertos frutícolas. En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 99-119). Produmedios.
- Molano-Díaz, J. M., Reyes-Medina, A. J. & Álvarez-Herrera, J. G. (2022). El 1-metilciclopropeno y la temperatura de almacenamiento en la poscosecha de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v.n.2022.1815>
- Morillo, A. C., Rodríguez, A. & Morillo, Y. (2019). Caracterización morfológica de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de Pachavita, Boyacá. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 291-298. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.75832>
- Navarrete, X., Ron, L., Viteri, P. & Viera, W. (2018). Parasitism of the root knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) chitwood in five wild Solanaceae species. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 71(1), 8367-8373. <http://dx.doi.org/10.15446/rfna.v71n1.67122>
- Ochoa-Vargas, L. M., Balaguera-López, H. E., Ardila-Roa, G., Pinzón-Sandoval, E. H., & Álvarez-Herrera, J. G. (2016). Crecimiento y desarrollo del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(3), 347-359. https://doi.org/10.21930/cta.vol17_num3_art:512
- Ovalle, J. D. (2020). *El cultivo de lulo Solanum quitoense, como alternativa de producción agrícola en el municipio de La Belleza Santander* [Tesis de pregrado, Universidad de la Salle]. Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/184/
- Paull, R. E. & Duarte, O. (2012). *Tropical Fruits, Volume 2*. CAB International. <http://dx.doi.org/10.1079/9781845937898.0000>
- Pulido, S., Bojacá, C. R., Salazar-Gutiérrez, M. R. & Chaves, B. (2008). Node appearance model for Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) in the high altitude tropics. *Biosystems Engineering*, 101(4), 383-387. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.09.009>
- Ramírez, F. (2021). Notes about Lulo (*Solanum quitoense* Lam.): an important South American underutilized plant. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68, 93-100. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-01059-3>
- Ramírez-Builes, V. H. & Naidu, N. (2010). Respuesta del lulo La Selva (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*) a la aplicación de fermentados aeróbicos tipo bocashi y fertilizante químico. *Acta Agronómica*, 59(2), 155-161.
- Ramírez, F. & Davenport T. L. (2020). The development of lulo plants (*Solanum quitoense* Lam. var. *septentrionale*) characterized by BBCH and Landmark phenological scales. *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 562-585. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1613470>
- Ramírez, F., Kallarackal, J. & Davenport, T. L. (2018). Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) reproductive physiology: A review. *Scientia Horticulturae*, 238, 163-176 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.046>
- Rodríguez, J. M. & Restrepo, L. P. (2011). Activity of pectic enzymes involved in the ripening process of lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Agronomía Colombiana*, 29(1), 63-71.
- Sánchez-Reinoso, A. D., Jiménez-Pulido, Y., Martínez-Pérez, J. P., Pinilla, C. S. & Fischer, G. (2019). Chlorophyll fluorescence and other physiological parameters as indicators of waterlogging and shadow stress in lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*) seedlings. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(3), 325-335. <https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i3.10017>
- Schneiders, H. B. (2019). *Enraizamento e desenvolvimento de estacas e caracterização de frutos de Solanum quitoense Lam. (Solanaceae)* [Tesis de pregrado, Universidad Federal de la Frontera Sur]. Archivo digital. <https://rd.uffrs.edu.br/bitstream/prefix/3483/1/SCHNEIDERS.pdf>
- Silva, W., Gómez, P., Viera, W., Sotomayor, A., Viteri, P. & Ron, L. (2016). Selección de líneas promisorias de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) para calidad de fruta. *Revista Científica Ecuatoriana*, 3(1). <https://doi.org/10.36331/revista.v3i1.21>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2014). *El cultivo del lulo (Solanum quitoense), una fruta agradable y de gran valor nutritivo*. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_may_2014.pdf

- Sogamoso, H. J. (2020). *Estudio preliminar de la respuesta fisiológica del lulo sin espinas (Solanum quitoense var. quitoense) expuesto a diferentes niveles de radiación durante la etapa vegetativa en la sabana de Bogotá* [Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional UMNG. <http://hdl.handle.net/10654/35950>
- Trujillo, N.Y. & Suárez A.J. (2010). Evaluation of the ripening process of the Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) Castilla variety. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 8(1), 58-66.
- Vargas-Bolívar, M.I., Calderón-Medellín, L.A. & Pérez-Trujillo, M.M. (2009). Efecto de las deficiencias de algunos nutrientes en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) en etapa de vivero. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 5(1-2), 64-81. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2122>
- Viera, W., Diaz, A., Caicedo, C., Suarez, A. & Vargas, Y. (2021). Key agronomic fertilization practices that influence yield of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) in the ecuadorian amazon. *Agronomy*, 11,310. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020310>

ENLACE ALTERNATIVO

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/4641> (html)

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/4641/5264> (pdf)