

Crecimiento y desarrollo del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia)

Growth and Development of Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) in the Municipality of San Antonio del Tequendama (Colombia)

Crescimento e desenvolvimento do fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) no município de *San Antonio* do Tequendama (Colômbia)

Lina María Ochoa-Vargas,¹ Helber Enrique Balaguera-López,² Gustavo Ardila-Roa,³
Elberth Hernando Pinzón-Sandoval,⁴ Javier Giovanni Álvarez-Herrera⁵

¹ Ingeniera agrónoma, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Profesional, Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia. campoycosecha@mieles.com.co

² PhD, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Profesor asociado, Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia. helber.balaguera@uptc.edu.co

³ MSc, Universidad Nacional de Colombia. Profesional especializado, Jardín Botánico. Bogotá, Colombia. ghardilar@unal.edu.co

⁴ MSc, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Profesor asistente, Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia. elberth.pinzon@uptc.edu.co

⁵ PhD, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Profesor asistente, Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia. javier.alvarez@uptc.edu.co

Fecha de recepción: 16/09/2015

Fecha de aceptación: 13/05/2016

Para citar este artículo: Ochoa-Vargas LM, Balaguera-López HE, Ardila-Roa G, Pinzón-Sandoval EH, Álvarez-Herrera JG. Crecimiento y desarrollo del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia). Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria. 17(3):347-359

DOI: http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:512

Resumen

En el municipio de San Antonio del Tequendama (Cundinamarca, Colombia) se está incentivando la siembra del cultivo de lulo, pero se desconocen muchos aspectos relacionados con la fisiología y el manejo de la especie en estas condiciones agroecológicas. El objetivo fue realizar el estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de lulo cultivar var. Septentrionale. Para lo cual se marcaron flores en antesis y se hicieron nueve muestreos de frutos del tercio medio de las plantas cada 20 días. En cada muestreo se determinaron las siguientes variables: masa fresca y seca de los frutos, firmeza, sólidos solubles totales, acidez total titulable e intensidad

respiratoria. A los 180 días, después de la antesis (DDA), los frutos alcanzaron la madurez de cosecha con una coloración naranja intensa y una masa promedio de 209 g. El comportamiento de la masa fresca y la masa seca del fruto fue sigmoideo simple lo cual se ajusta a un modelo no lineal de tipo logístico. La acidez total titulable y los sólidos solubles totales se incrementaron con el desarrollo del fruto, mientras que la intensidad respiratoria disminuyó y la firmeza aumentó hasta los 80 DDA para luego disminuir hasta la cosecha. La tasa absoluta de crecimiento (TAC) se incrementó rápidamente y alcanzó su máximo valor a los 129 DDA.

Palabras clave: *Solanum quitoense*, tasa de respiración, crecimiento, firmeza

Abstract

In the municipality of San Antonio del Tequendama (Cundinamarca, Colombia) is the planting of lulo cultivation is being encouraged. However, many aspects of the physiology and management of the species under these ecological conditions are not known. The aim of this research was to study the growth and development of the lulo fruit cultivar Septentrionale. Flowers were tagged during anthesis and nine sampling of fruits from the middle third of the plants every 20 days were made. In each sample, the following variables were determined:

fruit fresh and dry mass, firmness, total soluble solids, total titratable acidity and respiratory intensity. At 180 days after anthesis (DAA) the fruits reached harvest maturity with intense orange color and an average mass of 209 g. The behavior of the fruit fresh mass and dry mass was sigmoidal simple. The total titratable acidity and total soluble solids increased with fruit development, while the respiratory rate decreased; firmness increased to 80 DAA and then decreased until harvest. The absolute growth rate increases rapidly and reached its peak at 129 DAA.

Keywords: *Solanum quitoense*, Respiration rate, Growth, Firmness

Resumo

No município de *San Antonio do Tequendama* (Cundinamarca, Colômbia) está-se incentivando a semeadura da cultura de *lulo*, mas desconhecem-se muitos aspectos relacionados com a fisiologia e o manejo da espécie em estas condições agroecológicas. O objetivo foi realizar o estudo do crescimento e desenvolvimento do fruto de *lulo* cultivar var. Septentrionale. Para o qual se marcaram flores em antese e se fizeram nove amostragens de frutos do tercio médio das plantas cada 20 dias. Em cada amostragem determinaram-se as seguintes variáveis: matéria fresca e seca dos frutos, firmeza, sólidos solúveis totais, acidez total titulável e intensidade respiratória. Aos 180 dias, depois de

antese (DDA), os frutos atingiram a maturidade de colheita com uma coloração laranja intensa e uma massa média de 209 g. O comportamento da matéria fresca e a matéria seca do fruto foi sigmoide simples se ajustando a um modelo não linear de tipo logístico. A acidez total titulável e os sólidos solúveis totais incrementaram-se com o desenvolvimento do fruto, enquanto que a intensidade respiratória diminuiu, a firmeza aumentou até os 80 DDA e logo após diminuiu até a colheita. A taxa absoluta de crescimento (TAC) incrementou rapidamente e atingiu o seu máximo valor aos 129 DDA.

Palavras chave: *Solanum quitoense*, taxa de respiração, crescimento, firmeza

Introducción

El lulo (*Solanum quitoense* Lam.) es un frutal de origen andino, cultivado y consumido principalmente en Ecuador, Colombia y América Central (Acosta et al. 2009; Medina et al. 2009). Su producción se da principalmente conforme a esquemas de economía campesina (Ríos et al. 2002). El departamento de Cundinamarca ha venido incorporando áreas de siembra para este cultivo, con un registro para el año 2013 de 68 ha, una producción total de 1.000 t y un rendimiento promedio de 14,7 t ha⁻¹ (Agronet 2016).

Dentro de los municipios productores de Cundinamarca, se encuentra San Antonio del Tequendama, caracterizado por poseer condiciones agroecológicas favorables para la producción de *S. quitoense*. Sin embargo, este municipio no posee una tradición en la producción de lulo, lo que conlleva el desconocimiento del comportamiento fisicoquímico del fruto durante su crecimiento y desarrollo. Para el manejo agronómico del cultivo se siguen recomendaciones de otras zonas productoras, situación que aumenta la posibilidad de obtener producciones deficientes y de mala calidad, lo cual genera bajos ingresos para los agricultores y la consecuente disminución del área cultivada. En efecto, Mejía et al. (2012) mencionan que la producción y calidad en el cultivo de lulo dependen de la selección de la semilla y del sitio donde se encuentra el cultivo.

El estudio del crecimiento y desarrollo del fruto en especies de la familia Solanaceae, como la uchuva (*Physalis peruviana* L.) (Mazorra et al. 2003) y el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Ardila-Roa et al. 2011), ha permitido determinar que posiblemente el crecimiento del fruto del *S. quitoense* pueda tener un comportamiento sigmoideo simple, el cual puede ser explicado por un modelo no lineal de tipo logístico (Carranza et al. 2009). De acuerdo con Álvarez y Boche (1999), el análisis de crecimiento puede ser usado para investigar la adaptación ecológica de los cultivos a nuevos ambientes, la competencia entre especies y los diferentes tipos de manejo entre cultivares.

El crecimiento es un proceso que consiste en un aumento irreversible en el volumen o la masa de un organismo vivo, órgano o célula (Hunt 2003; Taiz y Zeiger 2010). El crecimiento es una aproximación holística, explicativa e integral, para comprender la forma y funciones de los vegetales (Hunt 2003). En frutos, las curvas de crecimiento del diámetro transversal en función del tiempo son las más empleadas (Casierra-Posada y Cardozo 2009), porque tienen la ventaja de ser de fácil determinación, no destructivas y permiten el seguimiento a lo largo del periodo de crecimiento. Las curvas de crecimiento sirven para identificar solamente la evolución de este proceso durante el ciclo de cultivo, de acuerdo con las condiciones climáticas de la zona en estudio, y para estimar el peso que tendrá el fruto en la cosecha (Ardila-Roa et al. 2011; Balaguera-López et al. 2012).

De acuerdo con Barceló-Coll et al. (2001), el desarrollo del fruto implica el crecimiento y la diferenciación de un gran número de tejidos. Al respecto, Agustí (2013) afirma que el tamaño final de los frutos carnosos está determinado por tres importantes procesos: el primero es la multiplicación celular, que es responsable de la formación del ovario antes de la antesis; luego se presenta la división celular, que tiene lugar después de la antesis y la polinización; y el tercer proceso corresponde a la elongación celular.

Algunos autores indican que el crecimiento y desarrollo del fruto de lulo, en condiciones distintas a las del presente estudio, se ajustó a modelos logarítmicos-polinomiales de cuarto grado para las variables de crecimiento longitudinal y transversal (Hernández y Martínez 1993). Sin embargo, estudios recientes realizados por Matarazzo et al. (2013) en dos cultivares de *S. quitoense* demostraron que el modelo no lineal de tipo logístico es el más adecuado para describir variables como diámetro, volumen, masa fresca y masa seca. Lo anterior concuerda con estudios realizados en frutos como la champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.) (Álvarez-Herrera et al. 2009; Balaguera-López et al. 2012) y la uva (*Vitis vinifera* L.) (Almanza et al. 2010), entre otros en los que el modelo utilizado fue de tipo logístico.

Durante el crecimiento y desarrollo de los frutos de lulo se presentan cambios físicos y químicos que conllevan la maduración. El conocimiento de estos cambios se convierte en una herramienta importante para productores, comercializadores y procesadores, quienes a partir de esta información pueden programar y planificar las labores de cosecha, manejo de poscosecha, selección de las operaciones unitarias de procesamiento y diseño de empaques (González-Loaiza et al. 2014). Mejía et al. (2012) evaluaron el comportamiento fisicoquímico del fruto de lulo en diferentes grados de madurez y encontraron que durante la maduración aumentan los sólidos solubles totales, mientras que la acidez total titulable se incrementa al final de la maduración. Loaiza et al. (2013) reportaron un aumento de la vitamina C en la maduración, y Matarazzo et al. (2013) mencionaron que durante el desarrollo de frutos de lulo se presentó pérdida de firmeza, disminución del almidón y de la clorofila. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue realizar un estudio del crecimiento y desarrollo, de acuerdo con un análisis funcional del fruto de lulo (*S. quitoense* Lam.) con las condiciones agroecológicas del municipio de San Antonio del Tequendama (Cundinamarca, Colombia).

Materiales y métodos

Para este estudio, los frutos de lulo fueron cosechados en un cultivo comercial sembrado en el municipio de San Antonio del Tequendama, departamento de Cundinamarca (Colombia), en la vereda Laguna Grande, finca La Despensa, situada a 4° 38' 02,55" N, y a 74° 20' 07,57" O del meridiano de Greenwich, a 1.900 msnm. La fase de laboratorio se realizó en el laboratorio de poscosecha de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Se seleccionaron completamente al azar 100 plantas de lulo (*S. quitoense* Lam.) adultas y homogéneas del cultivar var. Septentrionale, en las cuales se escogieron y marcaron diez flores/planta del tercio medio, aunque solo se recolectaron cinco frutos/planta. Este muestreo sobre estimado se hizo con el fin de asegurar el total de frutos necesarios, ya

que puede haber pérdidas por caída de flores, flores no fecundadas, acción física por vientos o aves y/o problemas fitosanitarios.

El marcaje de las flores se realizó con cauchos siliconados, cuando estas estuvieron en antesis. Se realizaron nueve muestreos cada veinte días. En cada muestreo, los frutos fueron recolectados manualmente de la planta y empacados en bolsas de papel y/o plásticas, para luego ser ubicados dentro de un termo de icopor. Una vez allí, fueron transportados directamente al laboratorio para los respectivos análisis.

A continuación, se enuncian las variables medidas. Masa fresca, medida en 10 frutos y determinada con una balanza de precisión de aproximación 0,01 g. Masa seca, medida en los frutos después de que estos fueron introducidos en una mufla a 75 °C, a peso constante. Firmeza del fruto (N), medida mediante la utilización de un penetrómetro digital PCE-PTR200 con aproximación 0,05 N. Sólidos solubles totales (SST), obtenidos con mediciones de grados Brix, con un refractómetro digital marca Hanna, de rango 0% a 85%, con precisión 0,1 °Bx. Acidez total titulable (ATT), medida de acuerdo con la metodología de la AOAC (1995), mediante cálculos con datos de volumen de NaOH, incorporado en 5 g de jugo de frutos, con 3 gotas de fenolftaleína como indicador. Para esta última variable se utilizó la fórmula siguiente: %Acidez = $(A*B*C)*100/D$, en donde: A = volumen de NaOH gastado, B = normalidad del NaOH (0,097), C = peso equivalente expresado en gramos de ácido predominante en el fruto (ácido cítrico 0,064 g meq-1) y D = peso en gramos de la muestra utilizada (5g).

Para la determinación de la tasa de respiración, se ubicaron aproximadamente 50 g de frutos en cámaras herméticas de 2 L. En cada una de ellas se puso un sensor infrarrojo de CO₂ conectado a una Labquest (equipo de captura de datos). Cada 4 segundos y durante 5 minutos se registraron los valores de CO₂, con los cuales se calculó la pendiente correspondiente a la tasa respiratoria. El peso de los frutos y el volumen de la cámara fueron tenidos en cuenta para convertir los datos a miligramos de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

Se realizaron diez repeticiones para las variables físicas, cada una compuesta por un fruto. Para las determinaciones químicas se utilizaron cuatro repeticiones, el tamaño de la repetición varió según el tipo de variable. Los datos fueron sometidos a un análisis descriptivo y se les determinó el promedio y el error estándar. Se graficó el comportamiento de cada una de las variables respecto al tiempo y se establecieron los modelos estadísticos con mayor ajuste. Las curvas de crecimiento, la tasa absoluta de crecimiento (TAC) y la tasa relativa de crecimiento (TRC) fueron determinadas mediante análisis funcional, de acuerdo con la metodología utilizada por Carranza et al. (2009), mediante la utilización del *software* SAS v. 9.2e (SAS Institute Inc., Cary, NC).

Resultados y discusión

Masa seca total

Se encontró que el lulo tiene un crecimiento sigmoideo simple, el cual se ajustó a un modelo no lineal de tipo logístico de crecimiento (figura 1 y tabla 1). Esta curva sigmoidea simple, propia de frutos carnosos, se ha encontrado también en el arazá (*Eugenia stipitata*) (Hernández et al. 2007), el tomate (Casierra-Posada et al. 2007) y la manzana (*Malus domestica*) (Yuri et al. 2011).

Fue posible identificar claramente las tres fases de crecimiento: una de crecimiento lento, hasta los 80 días después de la anthesis (DDA); luego una etapa de rápido crecimiento, que finaliza a los 160 DDA; y, por último, la fase de maduración, que finaliza con la cosecha, en la cual el crecimiento es mínimo. Las tasas de crecimiento ratifican dicho comportamiento, pues en la fase 1, la TAC tuvo un ascenso lento y la TRC permaneció casi estable. Luego, en la fase de rápido crecimiento, la TAC se incrementó rápidamente y alcanzó su máximo valor a los 129 DDA para luego disminuir; por su parte, la TRC tuvo una rápida disminución, lo cual confirma la pronta ganancia de masa seca en la segunda fase.

Finalmente, en la etapa de maduración, la TAC presentó una rápida disminución y la TRC descendió más lentamente, en coincidencia con el bajo crecimiento durante la maduración (figura 1).

En el fruto de lulo se pueden observar las tres fases de crecimiento descritas por Azcón-Bieto y Talón (2013) y Opara (2000). La baja cantidad de materia en la fase 1 se debe a que en esta predomina el proceso de división celular (Azcón-Bieto y Talón 2013). Luego se lleva a cabo el llenado de fruto con predominio de la elongación celular y, posiblemente, hay disminución en la respiración (Kays y Paull 2004). En la fase tres, el crecimiento no es notorio, y se hacen evidentes los diferentes cambios físicos, fisiológicos y bioquímicos encargados del proceso de maduración del fruto (Azcón-Bieto y Talón 2013).

El aumento de la masa seca del fruto de lulo depende de la formación de proteínas, azúcares y otras sustancias acumuladas durante su desarrollo (Dias 2001; Azcón-Bieto y Talón 2013). Al respecto, Castro Neto y Reinhardt (2003) afirman que la acumulación de masa seca es el resultado de una mayor participación de la fotosíntesis, asociada a la translocación de materia seca de otras partes de la planta hacia el fruto, pues la removilización de fotoasimilados previamente sintetizados es del 40 % al 50 % del peso del fruto.

Masa fresca total

Al igual que en la masa seca, también en la masa fresca el crecimiento del lulo fue sigmoideo simple, comportamiento que se describió mediante el modelo logístico de crecimiento (figura 2 y tabla 1). En la primera etapa de crecimiento, que va hasta los 80 DDA, el aumento de la masa fresca es bajo. Esto es así, debido a que en este periodo se presenta una elevada división celular, que comienza antes de la anthesis y continúa hasta los primeros días de poscujado. La división celular es estimulada por acción de fitohormonas asociadas con la polinización (Nacif 1991; Azcón-Bieto y Talón 2013).

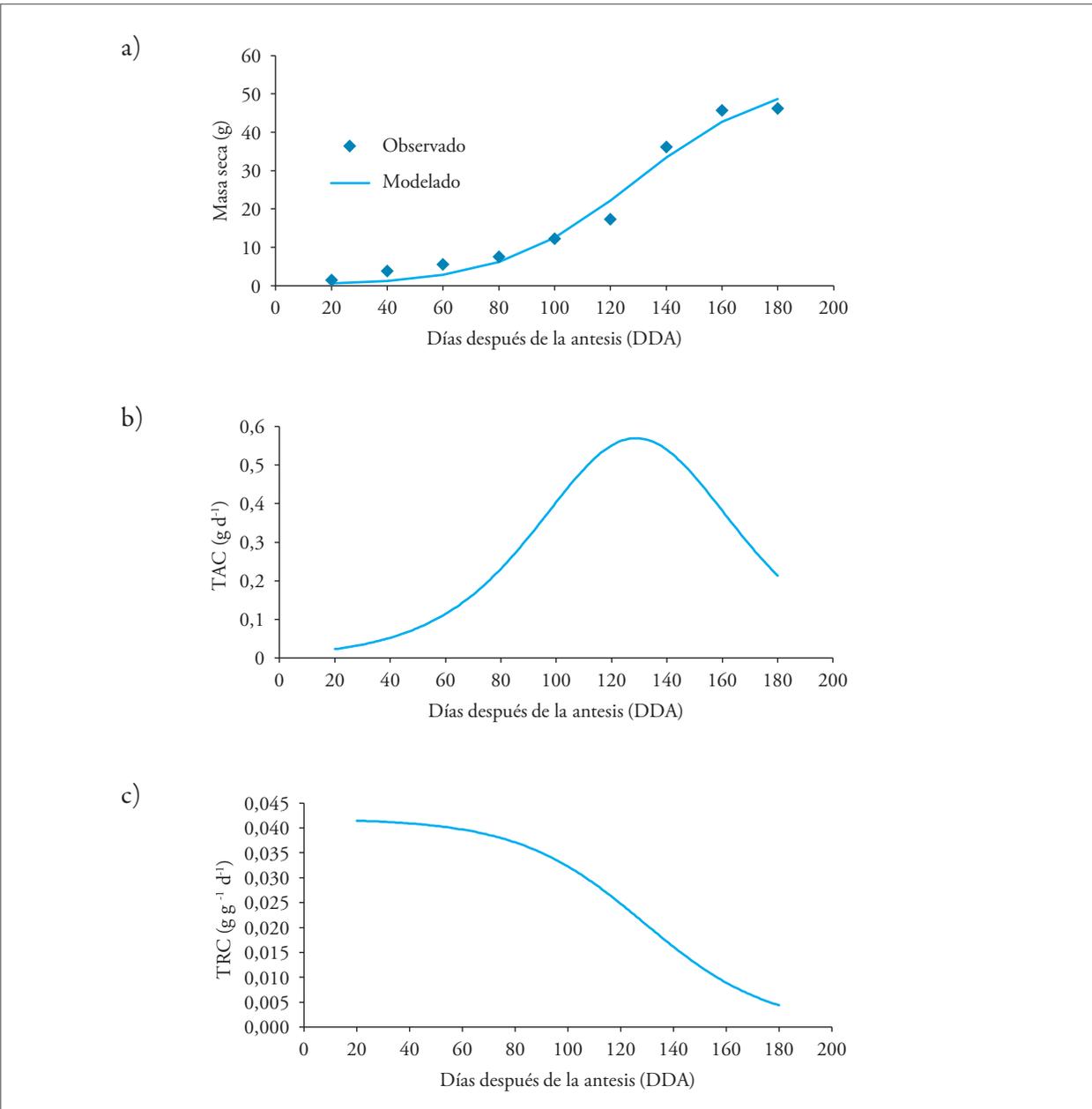


Figura 1. Comportamiento de la masa seca (a), la tasa absoluta de crecimiento —TAC—(b) y la tasa relativa de crecimiento —TRC— (c), durante el crecimiento y desarrollo de frutos de lulo en las condiciones agroecológicas del municipio de San Antonio del Tequendama (Cundinamarca).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Ecuaciones de ajuste al modelo logístico para la masa fresca y seca

Parámetro	Modelo logístico	R ²
Masa seca total	$Y = 54,3515 / (1 + e^{-0,0419 \cdot (DDA - 128,8)})$	0,97
Masa fresca total	$Y = 253,3 / (1 + e^{-0,03667 \cdot (DDA - 127,6)})$	0,96

Fuente: Elaboración propia

Luego se presenta elongación celular, que comprende de los 80 a los 160 DDA (figura 2), proceso que está influenciado por la plasticidad de las paredes celulares y por la presión de turgencia de las células, la cual es responsable del aumento representativo del crecimiento (Azcón-Bieto y Talón 2013). De las hormonas implicadas en el crecimiento del fruto, las auxinas son las principales: su incidencia en el crecimiento de las células del fruto está relacionada positivamente con el tamaño y forma

final (Chitarra y Chitarra 2005; Azcón-Bieto y Talón 2013).

A los 180 DDA se realizó la cosecha, porque los frutos presentaron su coloración típica (naranja intenso) en toda la epidermis, punto en el cual alcanzaron una masa fresca en promedio de 209,7 g (figura 2). Este valor indica un gran tamaño para los frutos de lulo, aunque en general se observó que tal característica es propia del material cultivado en la zona de estudio.

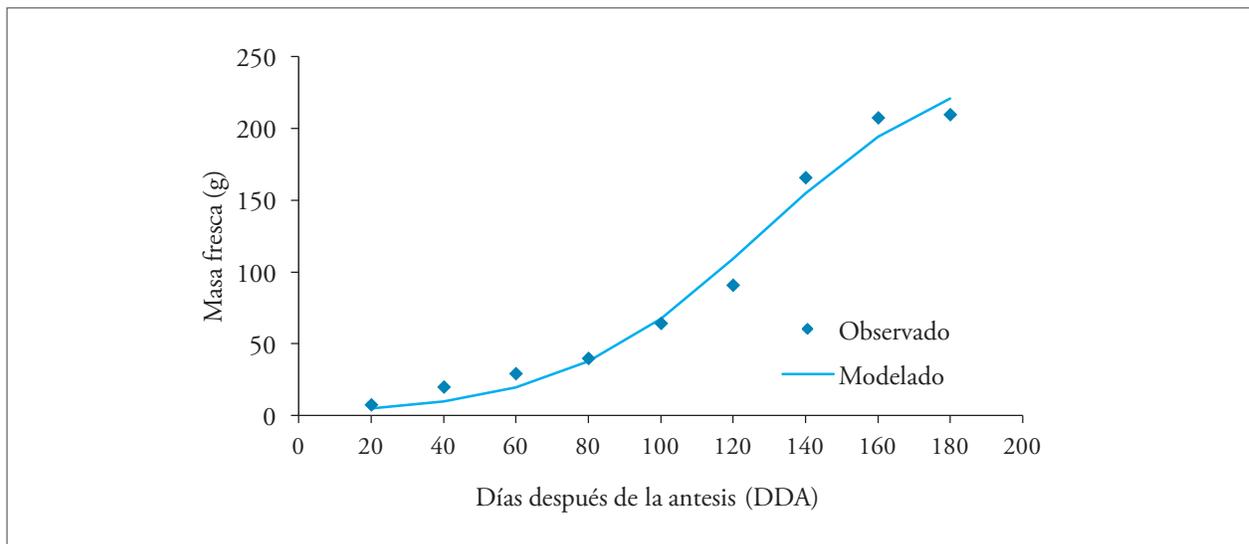


Figura 2. Comportamiento de la masa fresca durante el crecimiento y desarrollo de frutos de lulo en las condiciones agroecológicas del municipio de San Antonio del Tequendama (Cundinamarca).

Fuente: Elaboración propia

Firmeza

Se observó que entre los 20 y 60 DDA la firmeza permaneció estable, pero a los 80 DDA se produjo un incremento representativo y se alcanzó el máximo valor con $114,16 \pm 5,6$ N; después, los frutos de lulo perdieron constantemente la firmeza: en la cosecha presentaron un valor de $52,35 \pm 7,7$ N (figura 3). La alta consistencia presentada por estos frutos es otra característica a resaltar, junto con el gran tamaño que identifica a este cultivar en la zona del estudio, pues, en comparación con el lulo cultivado actualmente en otros lugares, este presenta una mayor ventaja para la manipulación y duración poscosecha. La firmeza, además, está relacionada con la fuerza necesaria para que un producto alcance

una deformación dada, pues esta depende de las transformaciones de la estructura celular, de la cohesión de las células y de algunos cambios bioquímicos (Chitarra y Chitarra et al. 2005).

El aumento de la firmeza en los primeros estados de desarrollo del fruto de lulo también fue encontrado en frutos de champa (Balaguera-López 2011) y arazá (Hernández et al. 2007), lo cual puede estar relacionado con la síntesis de protopectina (Hernández et al. 2007). En el ají (*Capsicum annum* L.) se encontró aumento de la firmeza hasta el inicio de la maduración de los frutos, la cual presentó correlación con el aumento del espesor de la epidermis (Tadesse et al. 2002), proceso que posiblemente pudo presentarse en los frutos de lulo.

La pérdida de firmeza en la maduración de los frutos de lulo puede ser causada por la degradación enzimática de sustancias pécticas y hemicelulosas y por la hidrólisis del almidón, tal como lo explican varios autores (Brummell 2006; Wills et al. 2007; Paliyath et al. 2008). Jiménez-Bermúdez et al. (2002) reportan que la fresa, el tomate y el aguacate pertenecen a frutos que presentan rápido ablandamiento durante

la maduración, grupo al que también pertenecería el fruto de lulo por su rápida pérdida de firmeza. La pérdida de consistencia durante la maduración es una de las principales causas de la corta vida poscosecha de los frutos, por tanto, cualquier mejora para disminuir el ablandamiento de estos puede tener una significativa importancia comercial (Jiménez-Bermúdez et al. 2002).

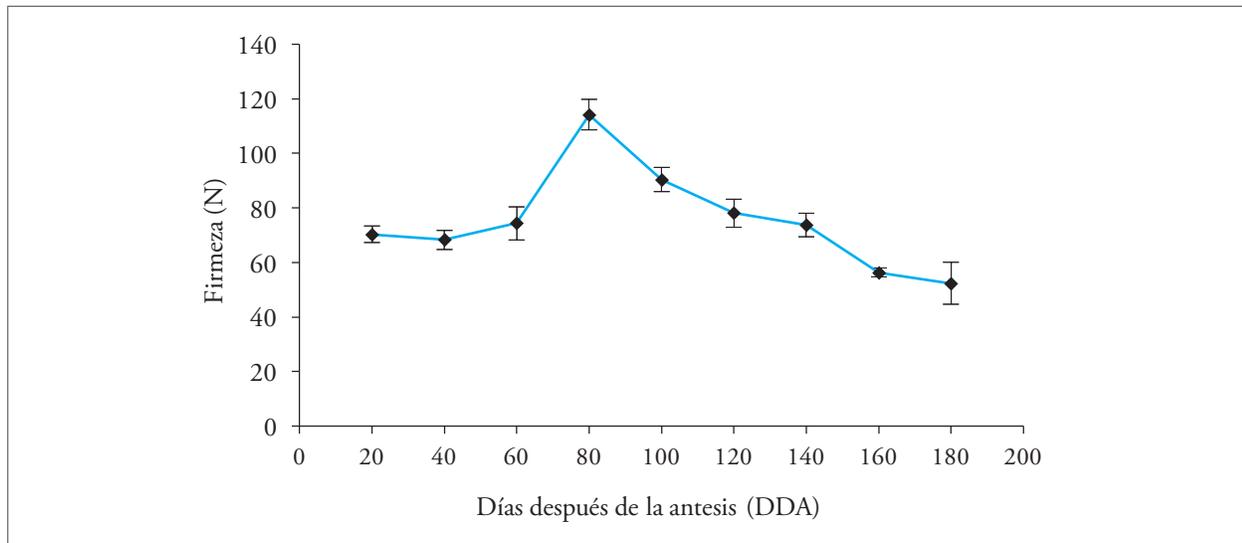


Figura 3. Comportamiento de la firmeza durante el crecimiento y desarrollo de frutos de lulo en las condiciones agroecológicas del municipio de San Antonio del Tequendama (Cundinamarca). Las barras verticales indican el error estándar ($n = 10$).

Fuente: Elaboración propia

Sólidos solubles totales (SST)

Hubo una leve disminución de los SST hasta los 80 DDA, lo cual coincide con la primera fase de crecimiento. Posteriormente, los SST aumentaron rápidamente hasta la cosecha, momento en el que los frutos presentaron $10,18 \pm 0,23$ °Bx. El comportamiento de los SST durante el desarrollo de los frutos de lulo se ajustó a una ecuación cuadrática (figura 4).

La disminución de los SST al principio del crecimiento puede indicar que parte de los azúcares que llegan al fruto en forma de sacarosa son convertidos en ácidos orgánicos, son respirados, convertidos en almidón de reserva o en polisacáridos estructurales (Kays y Paull 2004). Por su parte, el aumento de los SST después de los 80 DDA en los frutos de lulo

se puede atribuir a la hidrólisis del almidón y de los polisacáridos de la pared celular, los cuales dan origen a azúcares solubles (Kays y Paull 2004; Menéndez et al. 2006) como glucosa, fructosa y sacarosa, y generan aumento en los contenidos de sólidos solubles y azúcares solubles (Chitarra y Chitarra 2005).

La acumulación de azúcares está asociada con el desarrollo de una óptima calidad como comestible. Los azúcares pueden ser incorporados al fruto desde la corriente de fotosintetizados más que mediante la degradación de las reservas de almidón del fruto (Heredia et al. 1997). Los resultados obtenidos coinciden parcialmente con los reportados por Mejía et al. (2012) para frutos de lulo cosechados en Circasia (Quindío). Estos autores encontraron que, en seis estados de madurez, los SST se incrementaron en función del grado de maduración.

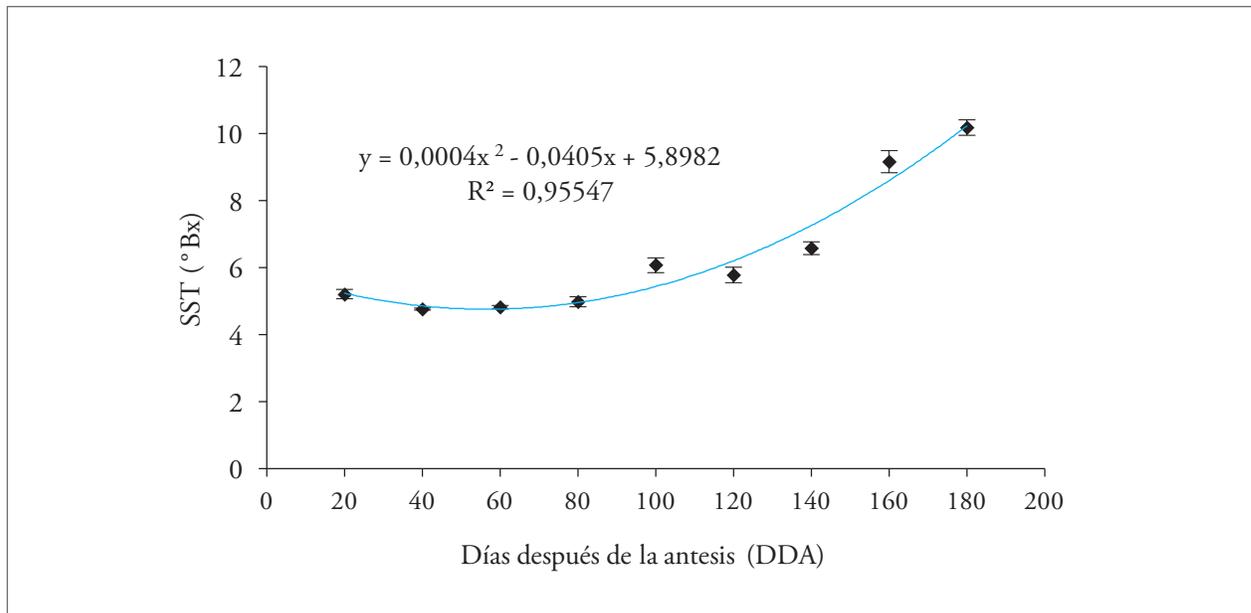


Figura 4. Comportamiento de los sólidos solubles totales (SST) durante el crecimiento y desarrollo de frutos de lulo en las condiciones agroecológicas del municipio de San Antonio del Tequendama (Cundinamarca). Las barras verticales indican el error estándar ($n = 4$)

Fuente: Elaboración propia

Acidez total titulable (ATT)

La ATT se ajustó a un polinomio de tercer grado. Se encontró que esta aumentó rápidamente entre los 60 y los 160 DDA y, luego, disminuyó durante la etapa de maduración. En la cosecha, los frutos de lulo presentaron una ATT de $4,05 \pm 0,11$ %, valor que indica alta acidez (figura 5). Un aumento de la ATT en los primeros estados de desarrollo del fruto de lulo también es reportado por Mejía et al. (2012), sin embargo, la acidez es menor, con valores cercanos al 3%. Otros frutos, como la champa (*C. lineatifolia*), también presentan un continuo aumento de la ATT durante el desarrollo (Balaguera-López 2011).

Es posible que el aumento de la ATT hasta la maduración se deba a un aumento en la actividad de la enzima citrato sintasa (CS), pues en la piña se encontró que el mayor contenido de ácidos en el fruto presentó relación con el incremento de esta enzima (Saradhulhat y Paull 2007). Una relación similar fue encontrada en el limón agrio (Sadka et al. 2001), en el cual la actividad de CS es inducida en los primeros estados de desarrollo de forma paralela

al incremento en el contenido de ácidos, no obstante, pueden estar involucrados otros factores (Saradhulhat y Paull 2007). Contrario a lo que se encontró en los frutos de lulo, generalmente los ácidos disminuyen durante la maduración, ya que son sustratos respiratorios o son transformados en azúcares (Kays y Paull 2004).

Intensidad respiratoria (IR)

La IR disminuyó continuamente durante el desarrollo del fruto y se ajustó a una función cuadrática. A los 20 DDA la IR fue de $77,17 \pm 10,23$ mg de $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y a los 160 DDA disminuyó a su nivel más bajo, con $13,91 \pm 1,32$ mg de $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. A los 180 DDA se observó un leve aumento que posiblemente indica el inicio del climaterio (figura 6). De acuerdo con Galho et al. (2007), desde el punto de vista fisiológico, la respiración es el proceso por el cual los compuestos altamente energéticos (ATP) y reductores (NADH_2) son formados a partir de carbohidratos y otros sustratos. Esos compuestos (ATP y NADH_2) son utilizados esencialmente en la síntesis de nuevas sustancias, en este caso, para el crecimiento del fruto de lulo.

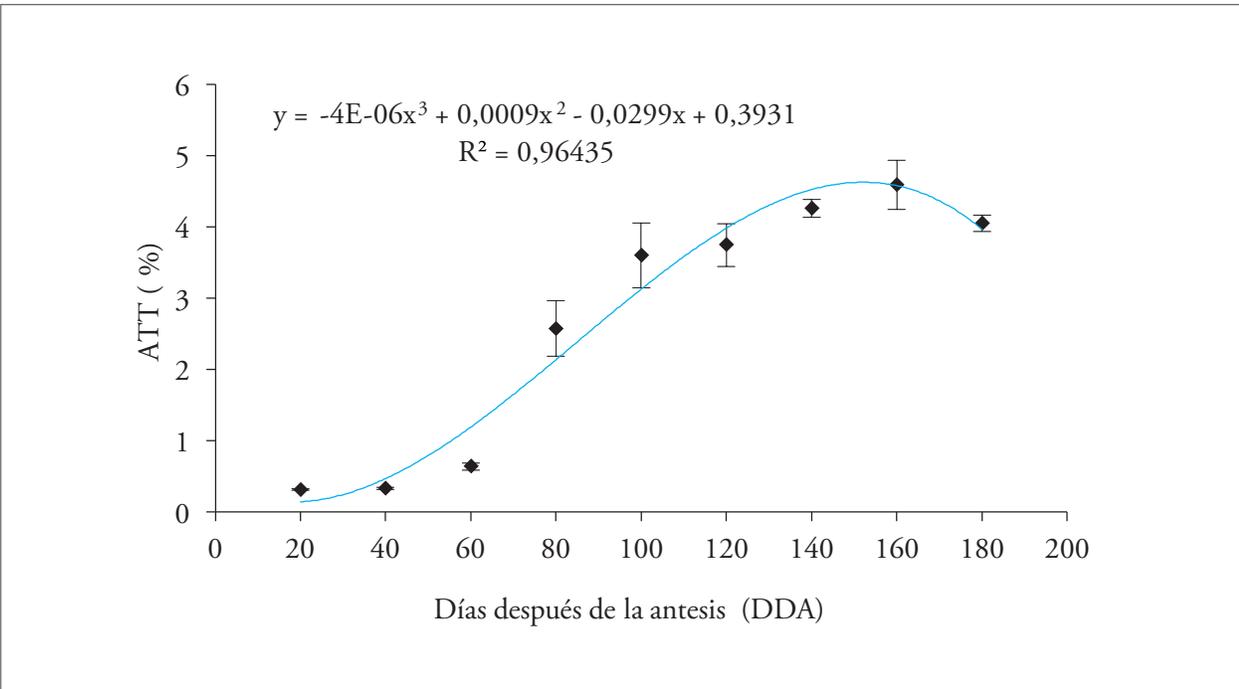


Figura 5. Comportamiento de la acidez total titulable durante el crecimiento y desarrollo de frutos de lulo en las condiciones agroecológicas del municipio de San Antonio del Tequendama (Cundinamarca). Las barras verticales indican el error estándar (n = 4)
Fuente: Elaboración propia

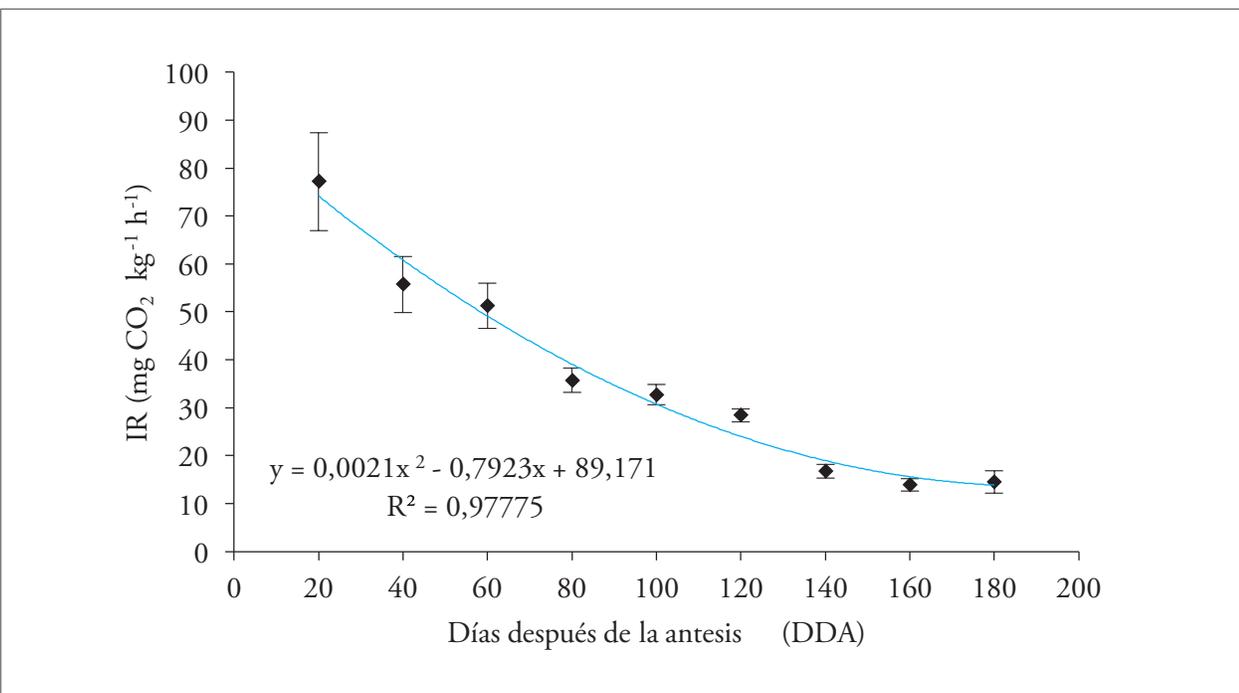


Figura 6. Comportamiento de la tasa respiratoria durante el crecimiento y desarrollo de frutos de lulo con las condiciones agroecológicas del municipio de San Antonio del Tequendama (Cundinamarca). Las barras verticales indican el error estándar (n = 4)
Fuente: Elaboración propia

La alta IR en frutos jóvenes de lulo se debe posiblemente al activo crecimiento que se presenta en esta fase (Azcón-Bieto y Talón 2013). Durante el desarrollo de frutos de arazá (Hernández et al. 2007) y de champa (Balaguera-López y Herrera 2012) también se observó una disminución en la IR. Wachowicz y Carvalho (2002) y Azcón-Bieto y Talón (2013) mencionan que en la segunda fase de crecimiento se presenta disminución de la IR, lo cual también se encontró en los frutos de lulo. El menor valor encontrado a los 160 DDA puede estar indicando que en este punto se presenta la madurez fisiológica.

Conclusiones

De acuerdo con las condiciones del estudio, se concluye que el desarrollo del fruto de lulo desde la antesis hasta la cosecha tiene una duración de 180 días. Además, el comportamiento de la masa fresca y la masa seca fue sigmoideo simple y se ajustó a un modelo logístico de crecimiento. La firmeza de los frutos de lulo aumentó en los primeros estados de

desarrollo hasta su valor máximo a los 80 DDA y luego disminuyó hasta la cosecha. Por el contrario, los SST aumentaron representativamente a partir de los 80 DDA. La ATT aumentó durante el desarrollo del fruto y alcanzó el máximo a los 160 DDA, luego disminuyó levemente; sin embargo, en la cosecha la ATT estuvo por encima de 4%, que es un indicativo de la alta acidez que presentan los frutos de lulo. La tasa respiratoria tuvo un comportamiento típico, con valores altos en la primera fase de crecimiento y, luego, con un continuo descenso hasta los 160 DDA, momento en el que alcanzó su valor más bajo. Lo anterior puede indicar la madurez fisiológica de los frutos de lulo.

Descargos de responsabilidad

Los autores agradecen a la UPTC que, a través de la Dirección de Investigaciones (DIN), financió el proyecto SGI 1531, con el cual se pudo realizar la presente investigación y manifiestan que no existe ningún conflicto de interés que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Referencias

- Acosta Ó, Pérez AM, Vaillant F. 2009. Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) cultivated in Costa Rica. *Arhc Latinoam Nutr.* 59(1):88-94.
- Agronet. 2016. Área cosechada, producción y rendimiento de lulo año 2013; [consultado 2016 ene]. <http://207.239.251.112/www/htm3b/ReportesAjax/VerReporte.aspx>.
- Agustí M. 2013. Crecimiento y maduración del fruto. En: Azcón-Bieto J, Talón M, editores. *Fundamentos de fisiología vegetal*. Madrid, España: Interamericana - McGraw-Hill. pp. 519-535.
- Almanza PJ, Quijano-Rico MA, Fischer G, Chaves B, Balaguera-López HE. 2010. Physicochemical characterization of 'Pinot Noir' grapevine (*Vitis vinifera* L.) fruit during its growth and development under high altitude tropical conditions. *Agron Colomb.* 28(2):173-180.
- Álvarez A, Boche S. 1999. Modelos matemáticos para describir crecimientos doble sigmoideos en frutos de un nectarín tardío (cv. Sun Grand). *Agro Sur.* 27(1):21-28.
- Álvarez-Herrera JG, Galvis JA, Balaguera-López HE. 2009. Determinación de cambios físicos y químicos durante la maduración de frutos de champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.). *Agron Colomb.* 27(2):253-259.
- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 1995. *Official methods of analysis of AOAC international*. Cunniff P, editor. Washington, EE. UU.: AOAC International.
- Ardila-Roa G, Fischer G, Balaguera-López HE. 2011. Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero. *Rev Colomb Cienc Hort.* 5(1):44-56.
- Azcón-Bieto J, Talón M, editores. 2013. *Fundamentos de fisiología vegetal*. Madrid, España: Interamericana - McGraw-Hill.
- Balaguera HE. 2011. Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.) y determinación del punto óptimo de cosecha [tesis de maestría]. [Bogotá]: Universidad Nacional de Colombia.
- Balaguera-López HE, Herrera A. 2012. Estudio de algunos cambios bioquímicos durante el crecimiento y hasta la cosecha del fruto de champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P. familia Myrtaceae). *Rev Bras Frutic.* 34(2):460-468.

- Balaguera-López HE, Herrera-Arévalo A, Cortés-Moreno D. 2012. Growth of champa fruit under agroecological conditions of Miraflores, Boyacá, Colombia. *Pesq Agropec Bras.* 47(12):1722-1730.
- Barceló-Coll J, Rodrigo GN, Sabater-García B, Sánchez-Tamés R. 2001. *Fisiología Vegetal*. Madrid: Ediciones Pirámide. .
- Brummell DA. 2006. Cell wall disassembly in ripening fruit. *Funct Plant Bio.* 33(2):103-119.
- Carranza C, Lancho O, Miranda D, Chaves B. 2009. Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agron Colomb.* 27(1):41-48.
- Casierra-Posada F, Cardozo MC. 2009. Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. 'Quindío') cultivados a campo abierto. *Rev Fac Nal Agr Medellín.* 62(1):4815-4822.
- Casierra-Posada F, Cardozo MC, Cárdenas-Hernández JF. 2007. Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agron Colomb.* 25(2):299-305.
- Castro Neto MT, Reinhardt DH. 2003. Relações entre parâmetros de crescimento do fruto de manga cv. Haden. *Rev Bras Frutic.* 25(1): 36-38.
- Chitarra MIF, Chitarra AB. 2005. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras, Brasil: UFLA.
- Dias DCF. 2001. Maturação de sementes. *Seed News.* 5(6):22-25.
- Galho AS, Lopes NF, Bacarin MA, Lima MD. 2007. Composição química e respiração de crescimento em frutos de *Psidium cattleianum* Sabine durante o ciclo de desenvolvimento. *Rev Bras Frutic.* 29(1):61-66.
- González-Loaiza DI, Ordóñez-Santos LE, Vanegas-Mahecha P, Vásquez-Amariles HD. 2014. Cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cosechados en tres grados de madurez. *Acta Agron.* 63(1):11-17.
- Heredia J, Siller J, Báez M, Araiza E, Portillo T, García R, Mury M. 1997. Cambios en la calidad y el contenido de carbohidratos en frutas tropicales y subtropicales a nivel de supermercado. *Proc Interamer Soc Trop Hort.* 41:104-109.
- Hernández MS, Martínez O. 1993. Modelos de crecimiento para el fruto del lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Rev Agric Trop.* 30(3):87-90.
- Hernández MS, Martínez O, Fernández-Trujillo JP. 2007. Behavior of arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening. *Sci Hort.* 111(3):220-227.
- Hunt R. 2003. Growth analysis, individual plants. En: Thomas B, Murphy DJ, Murray D, editores. *Encyclopedia of applied plant sciences*. Londres, Inglaterra: Academic Press. pp. 579-588.
- Jiménez-Bermúdez S, Redondo-Nevado J, Muñoz-Blanco J, Caballero JL, López-Aranda JM, Valpuesta V, Pliego-Alfaro F, Quesada MA, Mercado JA. 2002. Manipulation of strawberry fruit softening by antisense expression of a Pectate Lyase gene. *Plant Physiol.* 128(2):751-759.
- Kays SJ, Paull RE. 2004. *Postharvest biology*. Athens (GA), EE. UU.: Exon Press.
- Matarazzo PH, De Siqueira DL, Salomao LC, Da Silva DF, Cecon PR. 2013. Desenvolvimento dos frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) em Viçosa-MG. *Rev Bras Frutic.* 35(1):131-142.
- Mazorra MF, Quintana AP, Miranda D, Fischer G, Chaves B. 2003. Análisis sobre el desarrollo y la madurez fisiológica del fruto de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sumapaz (Cundinamarca). *Agron Colomb.* 21(3):175-189.
- Medina CI, Lobo M, Martínez E. 2009. Revisión del estado del conocimiento sobre la función productiva del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en Colombia. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria.* 10(2):167-179.
- Mejía CM, Gaviria D, Duque AL, Rengifo L, Aguilar E, Alegría AH. 2012. Physicochemical characterization of the lulo (*Solanum quitoense* Lam.) Castilla variety in six ripening stages. *Vitae.* 19(2):157-165.
- Menéndez O, Lozano SE, Arenas M, Bermúdez KA, Martínez A, Jiménez A. 2006. Cambios en la actividad de α -amilasa, pectinmetilesterasa y poligalacturonasa durante la maduración del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa* Degener). *Interciencia.* 31(10):728-733.
- Nacif SR. 1991. Ontogenia e crescimento do fruto do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) [dissertação de mestrado]. [Viçosa, Brasil]: Universidade Federal de Viçosa.
- Opara LU. 2000. Fruit growth measurement and analysis. *Hortic Rev.* 24:373-431.
- Paliyath G, Murr DP, Handa AK, Lurie S. 2008. *Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers*. 1st ed. New Delhi, India: Wiley-Blackwell Publishing.
- Ríos G, Rodríguez JL, Franco G. 2002. Características socioeconómicas de los productores de lulo. En: Giraldo MJ, Franco G, editores. *El cultivo del lulo. Manual técnico*. Manizales, Colombia: Asohofrucol, Corpoica, Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola.
- Sadka A, Dahan E, Or E, Roose ML, Marsh KB, Cohen L. 2001. Comparative analysis of mitochondrial citrate synthase gene structure, transcript level and enzymatic activity in acidless and acid-containing Citrus varieties. *Aust J Plant Physiol.* 28(5):383-390.
- Saradhuldhath P, Paull RE. 2007. Pineapple organic acid metabolism and accumulation during fruit development. *Sci Hort.* 112(3):297-303.
- Tadesse T, Hewett EW, Nichols MA, Fisher KJ. 2002. Changes in physicochemical attributes of sweet pepper cv. Domino during fruit growth and development. *Sci Hort.* 93(2):91-103.
- Taiz L, Zeiger E. 2010. *Plant physiology*. 5th ed. Sunderland (MA), EE. UU.: Sinauer Associates Inc. Publishers.
- Wachowicz CM, Carvalho RIN, editores. 2002. *Fisiologia vegetal: produção e pós-colheita*. Curitiba, Brasil: Champagnat.
- Wills RBH, Mcglasson WB, Graham D, Joyce DC. 2007. *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. 5th ed. Wallingford, Inglaterra: New South Wales University.
- Yuri JA, González J, Verdugo J, Del Pozo A. 2011. Responses of fruit growth, quality, and productivity to crop load in apple cv. Ultra Red Gala/MM111. *Sci Hort.* 127(3): 305-312.