

# Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) bajo condiciones de clima frío\*

## Growth and development study of the agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) fruit under conditions of the cold climate

MURCIA-GALINDO, ÁNGELA-PATRICIA<sup>1</sup>; RUIZ-BERRÍO, HERNÁN-DAVID<sup>2</sup>;  
BALAGUERA-LÓPEZ, HELBER-ENRIQUE<sup>3</sup>

### Historial del Artículo

Recibido para evaluación: 18 de Agosto 2020.

Aprobado para publicación: 21 de Abril 2021.

\* Proyecto de investigación de origen: "Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de agraz (*Vaccinium meridionale* Sw.) bajo condiciones del trópico alto. Financiación: Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia. Finalización: Marzo 11 de 2019.

1 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ingeniero Agrónomo. Tunja, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-5994-2567>

2 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ingeniero Agrónomo. Tunja, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-1450-7342>

3 Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Agronomía. Ph.D. Fisiología Vegetal. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-3133-0355>

Correspondencia: [hebalagueral@unal.edu.co](mailto:hebalagueral@unal.edu.co)

Cómo citar este artículo: MURCIA-GALINDO, ÁNGELA-PATRICIA; RUIZ-BERRÍO, HERNÁN-DAVID; BALAGUERA-LÓPEZ, HELBER-ENRIQUE. Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) bajo condiciones de clima frío. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, v. 19, n. 2, 2021, p. 135-146. Doi: <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1613>

## RESUMEN

El agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) es una especie silvestre que crece de forma espontánea en la zona alto andina de países como Colombia y considerada una fruta con demanda creciente. El objetivo fue realizar un estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de agraz bajo condiciones de clima frío. Se seleccionaron frutos de arbustos adultos de agraz en Chiquinquirá (Colombia); desde el día 30 después de anthesis hasta la cosecha, se hicieron 7 muestreos periódicos, se realizaron mediciones de parámetros fisicoquímicos. Se determinó que desde la floración hasta la cosecha el fruto tardó 124 días y 817,5 grados calor día. Los frutos de agraz en estado maduro presentaron un diámetro ecuatorial y polar de  $9,8 \pm 0,11$  mm y  $10,3 \pm 0,14$  mm respectivamente; el peso fresco y peso seco del fruto, presentaron un comportamiento sigmoide simple, ajustándose a un modelo de crecimiento tipo logístico. Los sólidos solubles totales, la acidez total y el índice de color aumentaron en función del desarrollo. La respiración disminuyó, aunque tuvo un pico en la mitad del desarrollo. En la cosecha se presentaron valores medios de sólidos solubles de  $13,27 \pm 1,17$  °Brix, índice de color de  $104,49 \pm 13,23$ , acidez total de  $2,39 \pm 0,05$  % y tasa respiratoria de  $33,48 \pm 8,43$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

## ABSTRACT

The agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) is a wild species that grows spontaneously in the high Andean area of countries like Colombia and is considered a fruit with increasing demand. The objective was to carry out a study of the growth and development of the berry fruit under conditions of the cold climate. Fruits of adult bushes of agraz were selected in Chiquinquirá (Colombia) municipality; from day 30 after anthesis to fruit harvest, 7 periodic samplings were made, measurements of physicochemical parameters were made. It was determined that from flowering to harvest the fruit there was 124 days and 817,5 degrees heat day. The ripe berry fruits had an equatorial and polar diameter of  $9,8 \pm 0,11$  mm and  $10,3 \pm 0,14$  mm respectively; the fresh weight and dry weight of the fruit showed a simple sigmoid behavior, adjusting to a logistic-type growth model. Total soluble solids, total acidity and color index increased as a function of development. Respiration slowed although it peaked in mid-development. At harvest, there were average soluble solids values of  $13,27 \pm 1,17$  °Brix, color index of  $104,49 \pm 13,23$ , total acidity of  $2,39 \pm 0,05$  % and respiratory rate of  $33,48 \pm 8,43$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

## INTRODUCCIÓN

El agraz o mortiño (*Vaccinium meridionale* Swartz), (Ericaceae), crece de forma silvestre en Colombia en zonas de sub páramo (González et al., 2018), aunque es una baya subutilizada (Arango-Varela et al., 2020), su importancia ha aumentado como cultivo de frutas exóticas de alto valor para los mercados nacionales e internacionales (Forero-Cabrera et al., 2020) debido a sus altas propiedades nutraceuticas y medicinales para

## PALABRAS CLAVE:

*Vaccinium meridionale*; Análisis de crecimiento; Anthesis; Modelo logístico; Maduración; Respiración; fructificación; Poscosecha; Color; Bayas.

## KEY WORDS:

*Vaccinium meridionale*; Growth analysis; Anthesis; Logistic model; Maturation; Respiration; fructification; Postharvest; Color; Berries.

el desarrollo de alimentos funcionales (Agudelo *et al.*, 2018; Garzón *et al.*, 2020), pero también debido a las condiciones tropicales que permiten una producción constante y un suministro permanente de frutas durante todo el año (González *et al.*, 2018). El agraz se considera una fruta promisoría y un alimento funcional por su alto contenido de antioxidantes. Las bayas son una excelente fuente de fitoquímicos en la dieta, como antocianinas y polifenoles que protegen contra afecciones neurodegenerativas, trastornos visuales y cáncer (Agudelo *et al.*, 2018; Shen *et al.*, 2018; Garzón *et al.*, 2020).

Para el año 2018 el área sembrada de agraz fue de 312,7 ha con un rendimiento de 1,84 t ha<sup>-1</sup>, la mayor área sembrada se encuentra en el departamento de Boyacá (Agronet, 2020). Este cultivo presenta dos épocas de fructificación al año, una entre marzo-mayo y otra entre septiembre-diciembre, esta última resulta ser la cosecha más abundante. El agraz presenta un sistema reproductivo mixto, produce frutos por agamosperma, autogamia y entrecruzamiento (Medina *et al.*, 2019).

Los estudios de crecimiento y desarrollo son importantes porque permiten conocer el desempeño fisiológico y productivo de una especie en un determinado ambiente, para planificar las labores agronómicas, de cosecha, manejo de poscosecha y procesamiento, entre otras, que pueden favorecer a productores, comercializadores y consumidores (Ochoa-Vargas *et al.*, 2016). Sin embargo, muchos de estos aspectos aún se desconocen en el fruto de agraz. En relación al crecimiento, se indica que todos los "blueberries" presentan una curva de crecimiento doble sigmoide, que desde floración a cosecha pueden tener una duración de 85 a 135 días (Retamales y Hancock, 2012). En frutos de agraz se reporta a partir de diferentes estados de madurez, que del estado E0 al E5, los sólidos solubles y la relación de madurez presentaron un aumento durante la maduración, por el contrario, la firmeza y el pH disminuyeron, el color varió de verde en estado inmaduro y morado oscuro en su madurez (Buitrago *et al.*, 2015). Cosechar los frutos en el E3 es una alternativa para mantener la calidad de los frutos al presentar valores altos de firmeza y acidez total titulable, y la menor pérdida de peso y relación de madurez, respecto a frutos cosechados más maduros (Rincón *et al.*, 2012). Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de conocer los parámetros fisicoquímicos durante la maduración del fruto como criterio para realizar la cosecha, que a su vez determina la duración y calidad pos cosecha (Liu *et al.*, 2019).

El presente trabajo tuvo como finalidad estudiar la dinámica del crecimiento y desarrollo del fruto de agraz con base al tiempo térmico; así como entender el comportamiento de las variables fisicoquímicas con el fin de generar un criterio técnico para de esta manera, establecer el tiempo óptimo para la ejecución de prácticas de cultivo como raleo, podas, fertilización y cosecha en clima frío.

## MÉTODO

Los frutos de agraz fueron cosechados en la vereda El Quiche ubicada en el municipio de Chiquinquirá (Boyacá) a una altura de 2615 msnm, 5° 35' 4" N y 73° 43' 28" O, con temperatura promedio de 13 °C, precipitaciones anuales de 1000-1300 mm y humedad relativa del 74 %. La fase de laboratorio, se realizó en el laboratorio de fisiología vegetal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia con sede en Tunja.

Se escogieron al azar 10 plantas de agraz, a las cuales, se les marcaron 20 inflorescencias/planta del tercio superior, con el fin de asegurar el total de frutos necesarios, ya que se podía presentar pérdida por caída de flores, flores no fecundadas o problemas fitosanitarios. Las flores fueron marcadas cuando el cultivo presentó más del 60 % de floración.

La recolección de los frutos fue manual y fueron empacados en bolsas de papel para luego ubicarlos en frascos de vidrio. Se realizaron 10 repeticiones para las variables físicas, cada una compuesta por un fruto, mientras que para las determinaciones químicas se utilizaron tres repeticiones.

Para el tiempo fisiológico, se hizo el cálculo de la acumulación de grados día calor (GDC) desde el momento de la antesis, mediante la ecuación (1):

$$\text{GDC} = (T_{\text{max}} + T_{\text{min}}/2) - T_{\text{base}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde: T max es la temperatura máxima diaria del aire; T min la temperatura mínima diaria del aire; la T base es la temperatura en que el proceso metabólico del agraz es mínimo, para este estudio, se asumió como 7 °C (Godoy *et al.*, 2008).

Las variables de crecimiento medidas en el estudio fueron masa fresca MF y masa seca MS, esta última mediante secado en estufa a 72 °C durante 48 h, el diámetro polar (DP) y el diámetro ecuatorial (DE) se midieron mediante calibrador digital Mitutoyo de aproximación 0,05 mm.

Dentro de los parámetros fisicoquímicos se determinó el índice de color (IC) de la epidermis y de la pulpa (Mariño-González *et al.*, 2019), a partir del sistema CIEL\*a\*b\* y de mediciones con colorímetro digital CR-410 (Konika Minolta) en la zona ecuatorial del fruto. El pH se midió directamente de una muestra de jugo con un pH Meter 744 Metrohm®. Los sólidos solubles totales (SST; °Brix) se cuantificaron con un refractómetro digital (marca Hanna, Woonsocket, RI). La acidez total titulable (ATT; % de ácido cítrico) se calculó mediante titulación ácido base con NaOH 0,1 N, y la relación de madurez (RM) como SST/ATT.

La tasa respiratoria ( $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) se determinó ubicando una muestra entre 50 y 80g de frutos en cámaras herméticas de 0,25 L, conectadas a un sensor infrarrojo de  $\text{CO}_2$  y a un equipo de captura de datos tipo Labquest (Balaguera-López y Palacios, 2018).

Los modelos, la tasa absoluta de crecimiento y la tasa relativa de crecimiento fueron determinados mediante análisis funcional de crecimiento (Almanza-Merchán *et al.*, 2016) por medio del software SAS v. 9.2. Para cada una de las variables se determinó el promedio y error estándar y se ajustaron los modelos estadísticos más adecuados.

## RESULTADOS

### Masa seca y fresca

Se encontró que en la masa seca el agraz sigue un crecimiento tipo sigmoide simple que se ajustó a un modelo de crecimiento de tipo logístico (Figura 1A; Cuadro 1). Se identificaron tres fases de crecimiento, fase 1 de alta división celular y crecimiento lento hasta los 334 GDC, luego una etapa de rápido crecimiento o fase 2 que finalizó a los 734 GDC y por último se presentó la fase 3, donde el crecimiento es mínimo hasta los 817,5 GDC (124 días) (Cuadro 2), momento en el que se realizó la cosecha. Estos resultados son acordes con otro estudio (Bhatla y Lal, 2018), en el cual se indica que una primera fase corresponde al crecimiento embrionario marcado por divisiones celulares rápidas, una segunda fase correspondiente al cese de la división y el agrandamiento celulares y una fase final en la cual cesa el agrandamiento celular y se presentan cambios bioquímicos como cambios de color, textura y sabor (Bhatla y Lal, 2018), como se describe más adelante.

**Cuadro 1.** Ecuaciones de ajuste al modelo logístico para las variables de crecimiento del fruto de agraz.

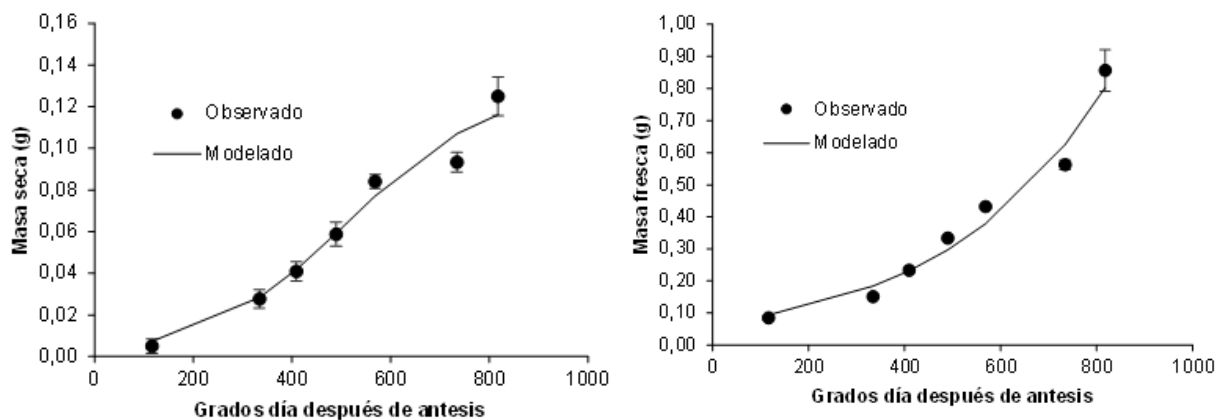
| Variable            | Ecuación  | R <sup>2</sup> | P-valor |
|---------------------|---|----------------|---------|
| Peso fresco         | $Y = 20,8988 / (1 + e^{-0,00311 \cdot (GDC - 1852,8)})$ | 0,98           | <,0001  |
| Peso seco           | $Y = 0,1297 / (1 + e^{-0,00707 \cdot (GDC - 514,5)})$   | 0,99           | <,0001  |
| Diámetro ecuatorial | $Y = 12,2083 / (1 + e^{-0,00357 \cdot (GDC - 300,1)})$  | 0,99           | <,0001  |
| Diámetro polar      | $Y = 13,7645 / (1 + e^{-0,00239 \cdot (GDC - 424,7)})$  | 0,99           | <,0001  |

**Cuadro 2.** Fases de crecimiento para la masa seca y fresca y diámetro ecuatorial y polar del fruto de agraz.

| Fases de crecimiento | GDC   | Masa seca (g) | Masa fresca (g) | Diámetro Ecuatorial (mm) | Diámetro Polar (mm) |
|----------------------|-------|---------------|-----------------|--------------------------|---------------------|
| 1                    | 334,0 | 0,03±0,004*   | 0,15±0,01       | 5,78±0,14                | 5,66±0,13           |
| 2                    | 734,0 | 0,09±0,005    | 0,56±0,02       | 10,21±0,11               | 9,35±0,21           |
| 3                    | 817,5 | 0,13±0,01     | 0,86±0,06       | 10,34±0,14               | 9,84±0,11           |

\*Promedio± error estándar

Este comportamiento sigmoideal simple también se ha encontrado en otras especies (Almanza-Merchán *et al.*, 2016; Vallarino y Osorio, 2019). Por el contrario, en arándanos se menciona que el patrón de crecimiento es doble sigmoide (Retamales y Hancock, 2012), indicando diferencias entre los patrones de crecimiento a pesar de ser especies con similitudes taxonómicas entre agraz y arándano.



**Figura 1.** A. Masa seca y B. masa fresca durante el crecimiento y desarrollo del fruto de agraz bajo condiciones de trópico alto. Las barras verticales en cada promedio indican el error estándar (n=10).

La masa fresca presentó un comportamiento similar a la masa seca, con un modelo de crecimiento de tipo logístico y curva de crecimiento sigmoide simple (Figura 1B, Cuadro 1 y 2). La primera fase de crecimiento fue hasta los 334 GDC, luego una segunda fase hasta los 734 GDC y finalmente una fase final que culminó a los 817,5 GDC, en este punto, el peso fue de  $0,86 \pm 0,06$  g. Los frutos de agraz presentaron un aumento en la masa fresca similar a lo encontrado previamente (Buitrago *et al.*, 2015).

Las tasas de crecimiento de la masa seca ratifican el comportamiento, dado que en la fase 1 la TAC tuvo un ascenso lento y la TRC permaneció casi estable, posteriormente en la fase 2 la TAC incrementó rápidamente y alcanzó su valor máximo ( $0,00240$  g/GDC) a los 520 GDC para luego disminuir, en esta etapa la TRC presentó una rápida disminución, lo que confirma la rápida ganancia de masa seca en la segunda fase, y en la etapa de maduración la TAC presentó una rápida disminución y la TRC descendió más lentamente y coincide con el bajo crecimiento durante esta etapa, en la cosecha la TRC fue de  $0,00299$  g/g/GDC (Figura 2).

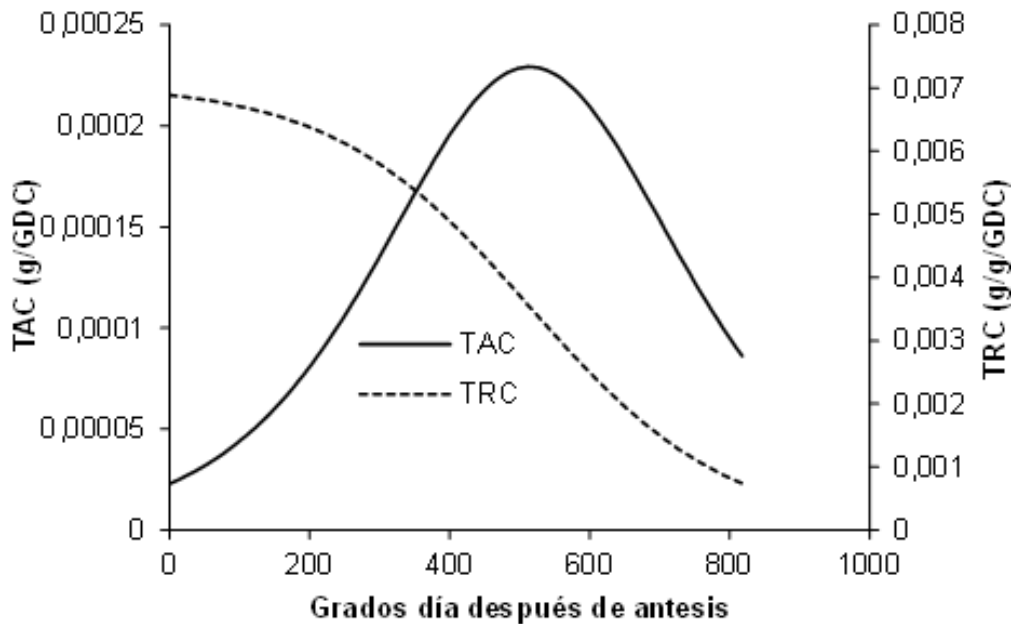


Figura 2. Comportamiento de la Tasa absoluta de crecimiento (TAC) y Tasa relativa de crecimiento (TRC) de la masa seca durante el crecimiento y desarrollo del fruto de agraz bajo condiciones de trópico alto.

### Diámetro ecuatorial y polar

El aumento del diámetro se ajustó a una curva sigmoide simple (Figura 3A y 3B, Cuadro 1 y 2), identificándose 3 etapas de crecimiento, la etapa I inició a los 116 GDC después de la antesis y finalizó a los 334 GDC con un diámetro ecuatorial de  $5,78 \pm 0,14$  mm y un diámetro polar de  $5,66 \pm 0,143$  mm, la etapa II hasta los 734 GDC con un diámetro ecuatorial y polar de  $10,21 \pm 0,11$  y  $9,35 \pm 0,21$  respectivamente, finalmente la última etapa de crecimiento (III) correspondió al fruto completamente desarrollado a los 817,5 GDC con diámetros ecuatorial y polar de  $10,34 \pm 0,14$  mm y  $9,84 \pm 0,11$  mm, el diámetro ecuatorial fue mayor al diámetro polar, este resultado coincide con lo reportado en otros estudios (Buitrago *et al.*, 2015). Estas etapas también son descritas para arándanos (Retamales y Hancock *et al.*, 2012) y manzanas (Cepeda *et al.*, 2021).

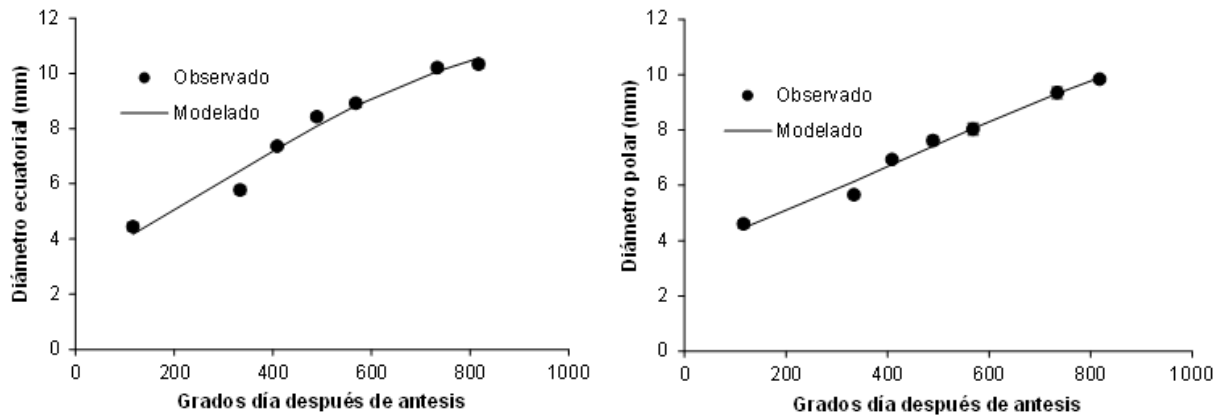
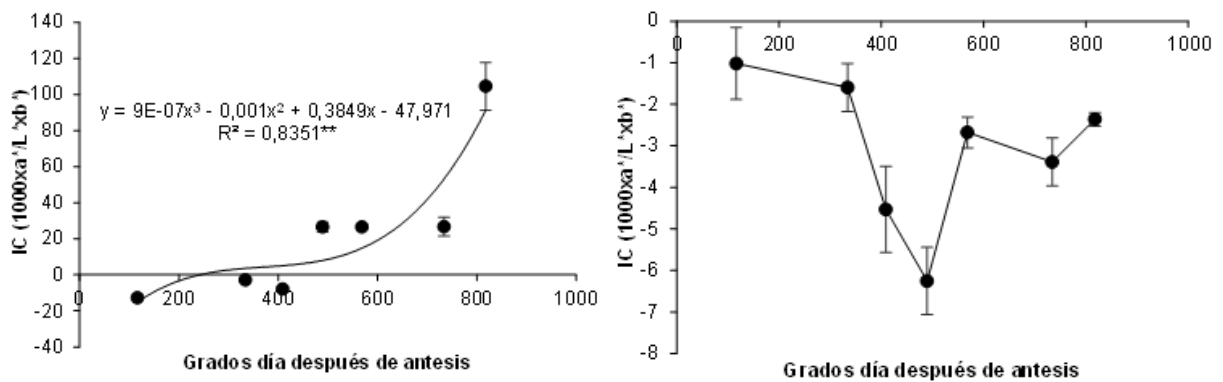


Figura 3. A) Diámetro ecuatorial y B) diámetro polar durante el crecimiento y desarrollo del fruto de agraz bajo condiciones de trópico alto. Barras verticales en cada promedio indican el error estándar (n=10).

Las etapas de crecimiento del fruto se caracterizaron por división celular (etapa I), crecimiento celular (etapa II) y maduración celular (etapa III). La etapa I comienza cuando la flor se abre (antesis), este período se caracteriza por tasas lentas de crecimiento, pero con alta división celular. La etapa II constituye un periodo de rápido crecimiento donde la fruta aumenta su tamaño debido a la acumulación de agua en la vacuola celular. En la etapa final el crecimiento de la fruta se detiene y el metabolismo de la fruta cambia para integrar una serie de cambios bioquímicos y fisiológicos (Tadeo *et al.*, 2020). Algunas hormonas pueden estar implicadas en el crecimiento del fruto, siendo las auxinas las principales responsables. Las auxinas, giberelinas y citoquininas participan activamente del crecimiento de las células del fruto, están relacionadas positivamente con el tamaño y forma final del fruto (Balaguera-López *et al.*, 2020).

### Índice de color (IC)

La epidermis presentó un incremento en el IC a medida que los GDC aumentaron, representado por una curva polinómica de tercer orden ( $R^2=0,8351$ ), en la cosecha el IC fue de  $104,49 \pm 13,23$  (Figura 4A), los frutos pasaron de un color verde, verde rojizo, morado rojizo y finalmente morado oscuro.



**Figura 4.** A) Índice de color de la epidermis y B) índice de color de la pulpa durante el crecimiento y desarrollo del fruto de agraz. Barras verticales en cada promedio indican el error estándar (n=10).

El IC de la pulpa presentó una disminución gradual pasando de  $-1,02 \pm 0,86$  a  $-6,26 \pm 0,81$  cuando los GDC fueron 489 y luego aumentó hasta  $-2,36 \pm 0,16$  con 817,5 GDC, la coloración de la pulpa pasó de verde en las primeras mediciones a verde-rojizo en las etapas finales (Figura 4B). Estos resultados son consistentes con lo reportado previamente (Buitrago *et al.*, 2015). Este cambio de color esta dado principalmente por las antocianinas (Díaz-Uribe *et al.*, 2019), sintetizadas a través de la vía biosintética del fenilpropanoide, estos compuestos contribuyen a la estabilidad frente a daños ambientales como sequias, heridas o radiación UV (Solvchenko *et al.*, 2019), pero también son responsables de la alta actividad antioxidante del fruto (González *et al.*, 2017; Díaz-Uribe *et al.*, 2019) y del atractivo color que caracteriza a estos frutos.

### pH

El pH presentó una tendencia polinómica de tercer orden, durante la primera fase de crecimiento a los 334 GDC el pH de los frutos presentaron valor de  $2,68 \pm 0,12$ , el cual disminuyó durante la segunda fase a los 568 GDC ( $2,21 \pm 0,05$ ) y finalmente aumentó hasta el momento de la cosecha a los 817,5 GDC con un valor de  $2,45 \pm 0,05$  (Figura 5A). Este comportamiento coincide con el reportado en otras investigaciones (Buitrago *et al.*, 2015). La disminución encontrada en el pH durante el desarrollo del fruto puede atribuirse a un incremento en el contenido de ácidos orgánicos.

El pH celular es muy importante en la regulación del metabolismo. En frutos, más del 90 % del volumen celular es ocupado por la vacuola, que es muy ácida, con pH inferior a 5 (Bhatla y Lal, 2018), lo que coincide con los resul-

tados encontrados en este estudio, además, el pH influye de forma importante en la calidad, ya que un aumento puede deteriorar la fruta por permitir el desarrollo de microorganismos (Jiménez-Esparza, 2017).

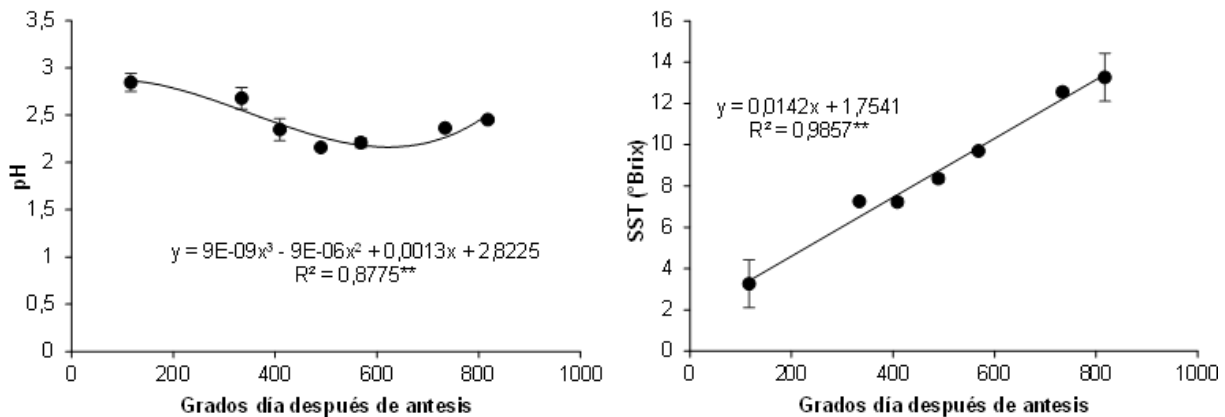


Figura 5. A. pH y B. sólidos solubles totales (SST) durante el crecimiento y desarrollo del fruto de agraz bajo condiciones de trópico alto. Las barras verticales en cada promedio indican el error estándar (n=3).

### Sólidos solubles totales (SST)

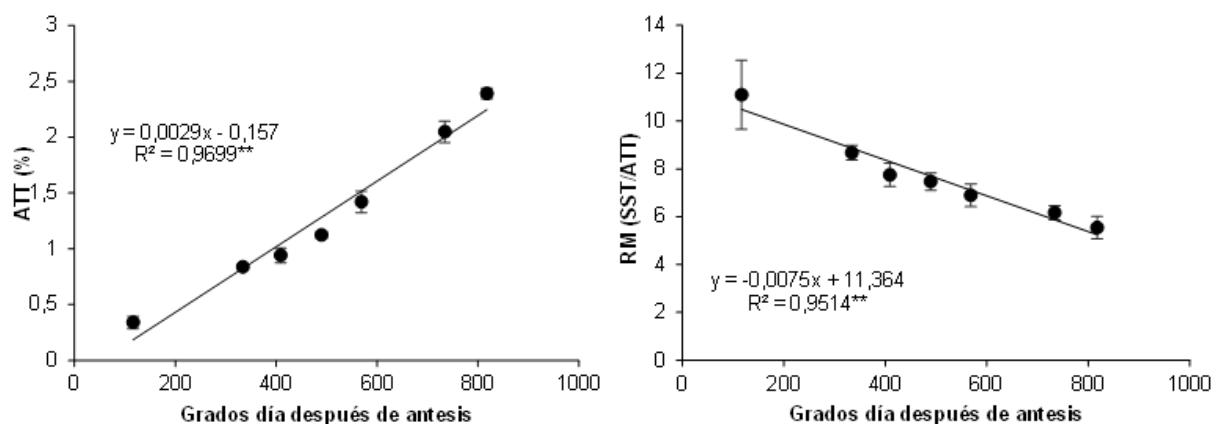
Los SST presentaron una tendencia lineal positiva desde los 116 GDC hasta los 817 GDC con valores de  $3,27 \pm 1,17$  °Brix y  $13,27 \pm 1,17$  °Brix (Figura 5B), indicando una acumulación de azúcares, la cual está asociada con el desarrollo de una óptima calidad comestible (Ochoa-Vargas *et al.*, 2016). En las primeras etapas del desarrollo de la fruta, los carbohidratos que se sintetizan en la fruta son polisacáridos como la celulosa, la hemicelulosa, las pectinas y el almidón (Bhatla y Lal, 2018), por esta razón los frutos de agraz en los primeros estados presentan bajos contenidos de SST, durante la maduración del fruto, los polisacáridos comienzan a degradarse a azúcares simples y, por lo tanto, aumenta la dulzura de la fruta (Yahia *et al.*, 2019), característica típica de frutos de agraz, acompañada también de un sabor ácido representativo.

### Acidez Total Titulable (ATT)

La ATT siguió una tendencia lineal, con aumento desde los 116 GDC hasta los 817 GDC con valores de  $0,34 \pm 0,06$  % y  $2,39 \pm 0,05$  % respectivamente (Figura 6A). Estos valores de ATT en la cosecha del fruto coinciden con lo reportado por en agraz (Buitrago *et al.*, 2015) quienes encontraron valores 2,2 %. Estos valores se consideran altos, pero junto con los altos contenidos de azúcares solubles dan como resultado su sabor característico y agradable.

Los ácidos orgánicos predominantes son responsables de la acidez del fruto. En muchas especies, el malato y el citrato son los principales ácidos orgánicos, durante la maduración, como la uva y el tomate, la cantidad de malato / citrato en términos de concentración y contenido por fruta disminuye, y esto demuestra que los ácidos orgánicos almacenados son asimilados o metabolizados (Vallarino y Osorio, 2019). Pero durante la maduración también puede haber una síntesis importante de ácidos tricarbóxicos en algunas especies (Vallarino y Osorio, 2019) situación que no es tan común y que explicaría el incremento de la ATT en la maduración de los frutos de agraz, sin embargo, durante etapas más avanzadas de maduración la ATT disminuye, como fue encontrado previamente (Medina *et al.*, 2019) como producto de la respiración y la gluconeogénesis (Ochoa-Vargas *et al.*, 2016).





**Figura 6.** A. Acidez total titulable (ATT) y B. relación de madurez (RM) durante el crecimiento y desarrollo del fruto de agraz. Las barras verticales en cada promedio indican el error estándar (n=3).

### Relación de madurez (RM)

La RM se ajustó a una tendencia lineal, los frutos de agraz mostraron una disminución desde los 116,5 GDC hasta los 817,5 GDC con valores de  $11,10 \pm 1,44$  (fruto inmaduro) y  $5,55 \pm 0,46$  (fruto maduro) respectivamente (Figura 6B).

Durante la maduración del fruto la relación de madurez disminuyó, por el aumento de la ATT, esto coincide con lo encontrado en otros estudios (Ochoa-Vargas *et al.*, 2016; Mariño-González *et al.*, 2019) en el comportamiento fisicoquímico del fruto de lulo encontraron que durante la maduración aumentan los SST, pero la ATT también se incrementa al final de la maduración, de esta manera, la RM es útil si se considera que el sabor de las frutas no se determina por la cantidad efectiva de azúcares y ácidos presentes, sino por la relación entre ellos (Buitrago *et al.*, 2015).

### Tasa de respiración (TR)

Los frutos recién cuajados a los 116,5 GDC presentaron una TR de  $47,2 \pm 1,47$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, la cual a los 334 GDC mostró una disminución con un valor de  $25,38 \pm 0,94$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, después a los 489 GDC se presentó un incremento en la respiración, alcanzando su valor máximo ( $42,3 \pm 3$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), luego disminuyó la TR a los 734 GDC donde presentó el valor más bajo ( $24,2 \pm 8,5$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) y que puede coincidir con la madurez fisiológica. Finalmente, en la cosecha, a los 817,5 GDC aumentó nuevamente la respiración hasta  $33,4 \pm 8,4$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Figura 7).

La alta TR en frutos jóvenes de agraz se puede explicar por el activo crecimiento que se presenta en esta fase, tal como lo informan (Tadeo *et al.*, 2020), sin embargo, el aumento de la TR hacia la mitad del desarrollo (489 GDC) no es común en frutos y podría asociarse a un alto requerimiento energético para la formación de las semillas, tal como lo indica Hernández y Hernández (2012) quienes al estudiar el fruto de copoazu encontraron un aumento en la TR en la fase II de crecimiento. La actividad respiratoria de los frutos de agraz presentó un comportamiento similar al reportado en frambuesa (Tezotto-Uliana *et al.*, 2018) quienes encontraron un descenso inicial en la TR a la que le siguió un aumento gradual, igualmente encontraron valores promedio de 25-30 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Los frutos de las especies *Vaccinium* son altamente perecederos debido a que presentan una tasa respiratoria elevada, del tipo climatérico donde el etileno es producido al momento de la cosecha (Yahia y Carrillo-López, 2019) y esto estaría acorde con el incremento de la TR observada entre los 734 y la cosecha en agraz.

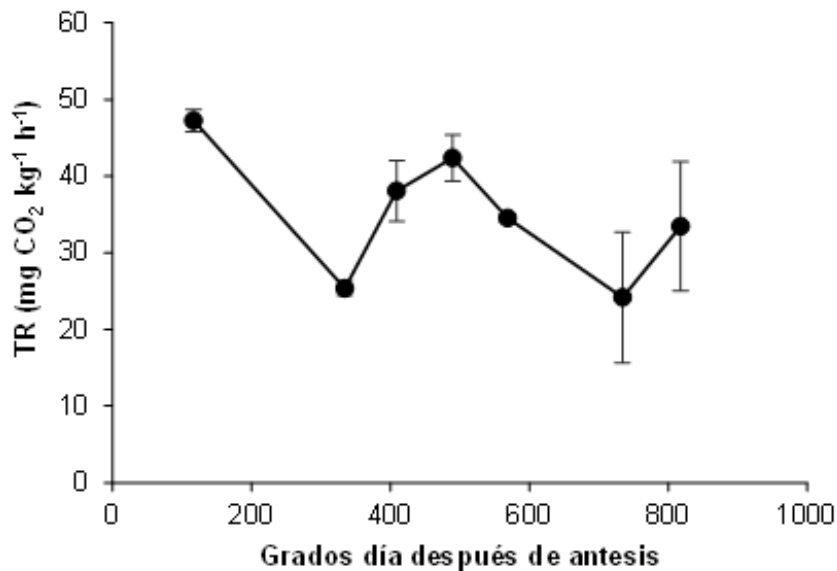


Figura 7. Comportamiento de la firmeza durante el crecimiento y desarrollo de frutos de agraz bajo condiciones de trópico alto. Las barras verticales en cada promedio indican el error estándar (n=3).

## CONCLUSIONES

De acuerdo con las condiciones del estudio, se determinó que desde la floración hasta la cosecha el fruto de agraz tardó 124 días y acumuló 817,5 grados calor día. Los frutos presentaron un comportamiento sigmoide simple, ajustándose a un modelo de crecimiento tipo logístico. Los sólidos solubles totales, la acidez total y el índice de color aumentaron en función del desarrollo. Por su parte, la relación de madurez y la tasa respiratoria disminuyeron, aunque esta última presentó un pico hacia la mitad del desarrollo.

## REFERENCIAS

- AGRONET. Reporte: área, producción y rendimiento nacional por cultivo. [online]. 2020. Disponible en <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- AGUDELO, C.D.; LUZARDO-OCAMPO, I.; CAMPOS-VEGA, R.; LOARCA-PIÑA, G.; MALDONADO-CELIS, M.E. Bioaccessibility during in vitro digestion and antiproliferative effect of bioactive compounds from Andean berry (*Vaccinium meridionale* Swartz) juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 66, n. 28, 2018, p. 7358–7366.  
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b0160>
- ALMANZA-MERCHÁN, P.; VELANDIA D.; TOVAR, Y. Propiedades fisicoquímicas durante el crecimiento y desarrollo de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, v. 10, n. 2, 2016, p. 222-231.  
<https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5065>
- ARANGO-VARELA, S.S.; LUZARDO-OCAMPO, I.; MALDONADO-CELIS, M.E.; CAMPOS-VEGA, R. Andean berry (*Vaccinium meridionale* Swartz) juice in combination with Aspirin modulated anti-inflammatory markers on LPS-stimulated RAW 264.7 macrophages. *Food Research International*, v. 137, 2020, p. 109541.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109541>

- BALAGUERA-LÓPEZ, H.E.; PALACIOS, E. Comportamiento pos cosecha de frutos de mandarina (*Citrus reticulata* Blanco) var. Arrayana: efecto de diferentes tratamientos térmicos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, v. 12, n. 2, 2018, p. 232-240.  
<http://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7702>
- BALAGUERA-LÓPEZ, H.E.; FISCHER, G.; MAGNITSKIY, S. Seed-fruit relationships in fleshy fruit species: Role of hormones. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, v. 14, n. 1, 2020, p. 90-103.  
<https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i1.10921>
- BHATLA, S.C.; LAL, M.A. *Plant physiology, development and metabolism*. Singapore (Singapore): Springer Nature Pte Ltd. 2018, p. 1237
- BUITRAGO, C.M.; RINCON, M.C.; BALAGUERA, H.; LIGARRETO, G.A. Tipificación de diferentes estados de madurez del fruto de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, v. 68, n. 1, 2015, p. 7521-7531.  
<https://doi.org/10.15446/rfnam.v68n1.47840>
- CEPEDA, A.; VELEZ-SÁNCHEZ, J.; BALAGUERA-LOPEZ, H.E. Analysis of growth and physicochemical changes of the apple cv. Anna in a high altitude tropical climate. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, v. 15, n. 2, 2021, p. e12508.  
<https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12508>
- DIAZ-URIBE, C.; VALLEJOA, W.; CAMARGO, G.; MUÑOZ-ACEVEDO, A.; QUIÑONES, C.; SCHOTT, E.; ZARATE, X. Potential use of an anthocyanin-rich extract from berries of *Vaccinium meridionale* Swartz as sensitizer for TiO<sub>2</sub> thin films – An experimental and theoretical study. *Journal of Photochemistry & Photobiology A. Chemistry*, v. 384, 2019, p. 112050.  
<https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2019.112050>
- FORERO-CABRERA, N.; SANCHEZ-SAENZ, M.C. Near-Infrared Spectroscopy as a classification tool for agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Journal of Applied Pharmaceutical*, v. 87 n. 213, 2020, p. 17-21.  
<http://doi.org/10.15446/dyna.v87n213.82284>
- GARZÓN, G.A.; SOTO, C.Y.; LÓPEZ, M.; RIEDL, K.M.; BROWMILLER, C.R.; HOWARD, L. Phenolic profile, in vitro antimicrobial activity and antioxidant capacity of *Vaccinium meridionale* swartz pomace. *Heliyon*, v. 6, n. 5, 2020, e03845.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03845>
- GODOY, C.; MONTERUBBIANESI, G.; TOGNETTI, J. Analysis of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit growth with exponential mixed models. *Scientia Horticulturae*, v. 115, n. 4, 2008, p. 368–376.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.018>
- GONZÁLEZ, M., SAMUDIO, I., SEQUEDA-CASTAÑEDA, L.G.; CELIS, C.; IGLESIAS J.; MORALES, L. Capacidad citotóxica y antioxidante de extractos de *Vaccinium meridionale* Swartz (Ericaceae) en líneas celulares leucémicas transformadas. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, v. 7, n. 3, 2017, p. 24-30.  
<http://doi.org/10.7324/JApS.2017.70305>
- GONZÁLEZ, L.K.; RUGELES, L.N.; MAGNITSKIY, S. Effect of different sources of nitrogen on the vegetative growth of Andean blueberry (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Agronomía Colombiana*, v. 36, n. 1, 2018, p. 58-67.  
<https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v36n1.69304>
- HERNÁNDEZ, C.; HERNÁNDEZ, M.S. Growth and development of the cupuaçu fruit (*Theobroma grandiflorum* [Willd. Ex Spreng.] Schum.) in the western colombian Amazon. *Agronomía Colombiana*, v. 30, n. 1, 2012, p. 95-102.
- JIMÉNEZ-ESPARZA, L.O.; GONZÁLEZ-PARRA, M.M.; CRUZ-TOBAR, S.E.; SANTANA-MAYORGA, R.; VILLACÍS-ALDAZ, L.A. Análisis poscosecha de frutos de pitahaya amarilla (*Cereus triangularis* Haw.), a distintos niveles de madurez y temperatura. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, v. 5, n. 2, 2017, p. 107-115.  
<https://doi.org/10.36610/j.jsab.2017.050200107>
- LIU, B.; WANG, K.; SHU, X.; LIANG, J.; FAN, X.; SUN, L. Changes in fruit firmness, quality traits and cell wall constituents of two highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during postharvest cold storage. *Scientia Horticulturae*, v. 246, 2019, p. 557–562.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.042>

- MARIÑO-GONZÁLEZ, L.; BUITRAGO, C.; BALAGUERA-LÓPEZ, H.; MARTÍNEZ-QUINTERO, E. Effect of 1-methylcyclopropene and ethylene on the physiology of peach fruits (*Prunus persica* L.) cv. Dorado during storage. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, v. 13, n. 1, 2019, p. 46-54.  
<https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i1.8543>
- MEDINA, C.I.; MARTÍNEZ-BUSTAMANTE, E.; LÓPEZ-OROZCO, C.A. Phenological scale for the mortiño or agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) in the high Colombian Andean area. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, v. 72, n. 3, 2019. p. 8897-8908.  
<https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n3.74460>
- OCHOA-VARGAS, L.M.; BALAGUERA-LÓPEZ, H.E.; ÁRDILA-ROA, G.; PINZÓN-SANDOVAL, E.H.; ÁLVAREZ-HERRERA, J.G. Crecimiento y desarrollo del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, v. 17, n. 3, 2016, p. 347-359.  
[https://doi.org/10.21930/rcta.vol17\\_num3\\_art:512](https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:512)
- RETAMALES, J.B.; HANCOCK, J. Blueberries. London (UK): CABI, 2012, 323 p.
- RINCÓN, M.; BUITRAGO, C.M.; LIGARRETO, G.; TORRES W.S.; BALAGUERA, H.E. Comportamiento del fruto de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) cosechado en diferentes estados de madurez y almacenado en refrigeración. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, v. 65, n. 2, 2012, p. 6621-6631.
- SHEN, M.; LI, K.; JING, H.; ZHENG, L. In vivo therapeutic effect of *Vaccinium meridionale* swartz in ischemia-reperfusion induced male albino rats. *Journal of Food Science*, v. 83, 2018, p. 221-228.  
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.13986>
- SOLOVCHENKO, A.; YAHIA, E.M.; CHUXIAN, C. Pigments. En: YAHIA, E.M.; CARRILLO-LÓPEZ, A. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. 1 ed. Kidlington (UK): Elsevier, Kidlington. 2019, 225-251 p.
- TADEO, F.R.; TEROL, J.; RODRIGO, M.J.; LICCIARDELLO, C.; SADKA, A. Fruit growth and development. En: TALON, M.; CARUSO, M.; GMITTER, F.G. *The Genus Citrus*. Amsterdam (Netherlands): Elsevier Inc., 2020, 245-269 p.
- TEZOTTO-ULIANA, V.J.; BERNO, N.D.; GÓMEZ, A.S.; KLUGE, R.A. Evaluación del comportamiento poscosecha de Frambuesas en diferentes condiciones de almacenamiento refrigerado. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, v. 19, n. 1, 2018, 62-73 p.
- VALLARINO, J.G.; OSORIO, S. Organic Acids. En: YAHIA, E.M.; A. CARRILLO-LÓPEZ. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. 1 ed. Kidlington (UK): Elsevier Inc., 2019, 207-224 p.
- YAHIA, E.M.; CARRILLO-LÓPEZ, A.; BELLO-PEREZ, L.A. Carbohydrates. In: YAHIA, E.M.; A. CARRILLO-LÓPEZ. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. 1 ed. Kidlington (UK): Elsevier Inc., 2019, 175-205 p.
- YAHIA, E.M.; CARRILLO-LÓPEZ, A. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. 1 ed. Kidlington (UK): Elsevier Inc., 2019, 476 p.