



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**DESCRIPCIÓN DE VARIANTES Y RETARDADORES DE LA  
MADURACIÓN EN FRUTOS**

**DE SARAMUYO (*Annona squamosa* L.)**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS  
Y DESARROLLO RURAL**

**P R E S E N T A:**

**EDGAR ORLANDO GÓMEZ BERRUECOS**

**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. IRÁN ALIA TEJACAL**

**COORDIRECTOR:  
DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS**



FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS

**Cuernavaca, Morelos, mayo de 2021**

## ÍNDICE

CAPITULO I .....	1
RESUMEN.....	1
DESCRIPCIÓN DE CUATRO VARIANTES DE SARAMUYO ( <i>Annona squamosa</i> L.) DE YUCATÁN, MÉXICO.....	2
INTRODUCCIÓN.....	2
MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
CONCLUSIONES.....	14
LITERATURA CITADA .....	14
CAPITULO II .....	1
RESUMEN.....	1
RETARDADORES DE MADURACIÓN EN FRUTOS DE SARAMUYO ( <i>Annona squamosa</i> L.) .....	2
INTRODUCCIÓN.....	2
OBJETIVO .....	5
HIPÓTESIS .....	5
MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
Localización y material vegetal.....	6
Diseño de tratamientos.....	6
Variables evaluadas .....	8
Respiración y producción de etileno. ....	8
Pérdida de peso. ....	8
Firmeza .....	9
Color.....	9
Acidez titulable.....	9
Proteína soluble y actividad enzimática. ....	10
Polifenol oxidasa (PFO).....	10
Peroxidasa (POD).....	11
Catalasa (CAT) .....	11
Fenoles totales.....	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
Cambios físicos.....	13

<b>Pérdida de peso</b> .....	13
<b>Firmeza</b> .....	15
<b>Color</b> .....	17
<b>Epidermis</b> .....	17
<b>Cambios químicos</b> .....	21
<b>Acidez titulable</b> .....	21
<b>Sólidos solubles totales</b> .....	23
<b>Cambios fisiológicos</b> .....	37
<b>Respiración</b> .....	37
<b>Etileno</b> .....	39
<b>CONCLUSIONES</b> .....	41
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	42

## CAPITULO I

### RESUMEN

El saramuyo es un fruto con gran aceptación en regiones tropicales del mundo, en México se encuentra cultivada en Yucatán y es altamente apreciada regionalmente por su sabor. En México, poco se ha estudiado la diversidad de estos frutos, por lo que el objetivo del presente trabajo es realizar una descripción breve de algunas características físicas, químicas y fisiológicas de cuatro variantes de saramuyo, que se consideran con potencial para su posterior desarrollo comercial. Se cosecharon 30 frutos en madurez fisiológica de cuatro variantes de saramuyo: 'Verde', 'Amarillo', 'Morado' y 'Rosa' en Oxkutzcab, Yucatán durante agosto de 2020. Se seleccionaron frutos de tamaño homogéneo y con el menor daño físico y por patógenos, dejándose madurar a temperatura ambiente (26 °C; 80 % HR) hasta que alcanzaran su madurez de consumo y realizar las evaluaciones. Los resultados indican que 'Amarillo' mostró el mayor diámetro polar 7.20 cm y mayor peso del fruto (180.22 g). La proporción de la pulpa, epidermis, raquis y semillas representaron entre 41.9 - 46.6 %, y 41.5 - 45.3 %, 1.7 - 2.0 % y 8.8 - 10.6 %, respectivamente, del peso del fruto. El número de semillas fue significativamente menor en la variante 'Morado' (37) comparado con los ecotipos 'Amarillo', 'Verde' y 'Rosa' (43-51). 'Amarillo' y 'Rosa' fueron las variantes de saramuyo con mayor contenido de sólidos solubles totales, con 21.4 y 26.9 °Brix, respectivamente. 'Morado' (0.25 %) mostró la menor acidez titulable de todas las variantes evaluadas. La variante 'Rosa' tuvo significativamente la mayor velocidad de respiración y producción de etileno, las variantes 'Verde' y 'Amarillo' produjeron cantidades intermedias de estos gases y la variante 'Morado' mostro 87 y 200 % menos velocidad de respiración y producción de etileno que la variante 'Rosa'. Las características físicas, químicas y fisiológicas del saramuyo en Yucatán, pueden ser atractivos para otros mercados, pero aún se debe seguir describiendo la diversidad en la región.

**Key words:** Respiración, etileno, acidez titulable, matiz.

## DESCRIPCIÓN DE CUATRO VARIANTES DE SARAMUYO (*Annona squamosa* L.) DE YUCATÁN, MÉXICO.

### INTRODUCCIÓN

El saramuyo es un árbol miembro de la familia Annonaceae, que se desarrolla en áreas tropicales alrededor del mundo como la Polinesia, Indonesia, Sureste de México, África tropical, las Antillas, Centroamérica, Sudamérica y Australia (Murtala *et al.*, 2018). El origen del saramuyo es desconocido (Morton, 2013), pero Andrés y Andrés (2011) indican que posiblemente es originaria de las tierras bajas de Centroamérica y de México se introdujo a Filipinas y Oriente.

El árbol es muy apreciado por que produce un fruto muy dulce y oloroso, succulento de excelente sabor, el cual tiene más vitamina C que una naranja (Murtala *et al.*, 2018). Otros componentes beneficios del fruto incluye a la vitamina A, B, E y K1, antioxidantes, ácidos grasos poliinsaturados y la presencia de minerales esenciales (Liu *et al.*, 2013). El fruto es agregado con forma acorazonada, redonda, ovado o cónico con 5 a 10 cm de longitud, compuesto de segmentos débilmente cohesionados, las cuales proyectan protuberancias redondeadas y que se separan fácilmente cuando madura (Liu, 2015).

En México, se reportan 50.50 ha en el estado de Yucatán (SIAP, 2021). Sin embargo, Andrés y Andrés (2011) reportan que el saramuyo se distribuye en huertos de traspatio en altitudes de 0 – 1000 m sobre el nivel del mar en Chiapas, Campeche y Jalisco. La distribución de la especie es más abundante en Yucatán y su uso se basa en la recolección de frutos de los huertos de traspatio (Andrés y Andrés, 2011).

El potencial del cultivo de la especie es alto, sin embargo, faltan variedades y desarrollar tecnología específica para la producción, además de la búsqueda de mercado (Andrés y Andrés, 2011). En México no se tienen reportes de variedades de saramuyo, por lo que es necesario realizar colectas y describir materiales sobresalientes en las regiones donde se cultiva. Bolívar-Fernández *et al.* (2009) describió el proceso de maduración de una selección sobresaliente de saramuyo de pulpa amarillo con tonalidades rojas, con buena producción y tamaño de fruto. Sin embargo, son escasos los trabajos en esta especie y sobre todo en la diversidad dentro de esta especie.

Considerando lo anterior, en el presente trabajo se realizó un primer intento en describir cuatro materiales de saramuyo que se cultivan en Oxcutzcab Yucatán, México y que puede servir de información básica para seguir realizando trabajos de caracterización que en el futuro conduzcan a la selección y generación de variedades de saramuyo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Localización**

En agosto de 2020 se adquirieron frutos de saramuyo cultivados en Oxkutzcab, Yucatán, México. Los frutos fueron colectados en huertas en producción. Se transportaron a Mérida, Yucatán en cajas de plástico de 40 kg de capacidad. Los frutos fueron evaluados en madurez de consumo.

### **Organización experimental**

Se clasificaron los frutos de saramuyo en cuatro colores de la epidermis y así fueron nombrados como 'Verde', 'Amarillo', 'Morado' y 'Rosa' (Figura 1). Se seleccionaron 30 frutos de tamaño homogéneo y sin daños mecánicos, y se dejaron que alcanzaran la madurez de consumo. Se determinaron variables como producción de etileno, respiración, color de epidermis, peso total del fruto, epidermis, pulpa, semilla y raquis, número de semillas, color de pulpa, sólidos solubles totales y acidez titulable. Se considero un diseño completamente al azar, donde se consideró como tratamiento la variante evaluada, utilizando como unidad experimental un fruto y se tuvieron 30 repeticiones.

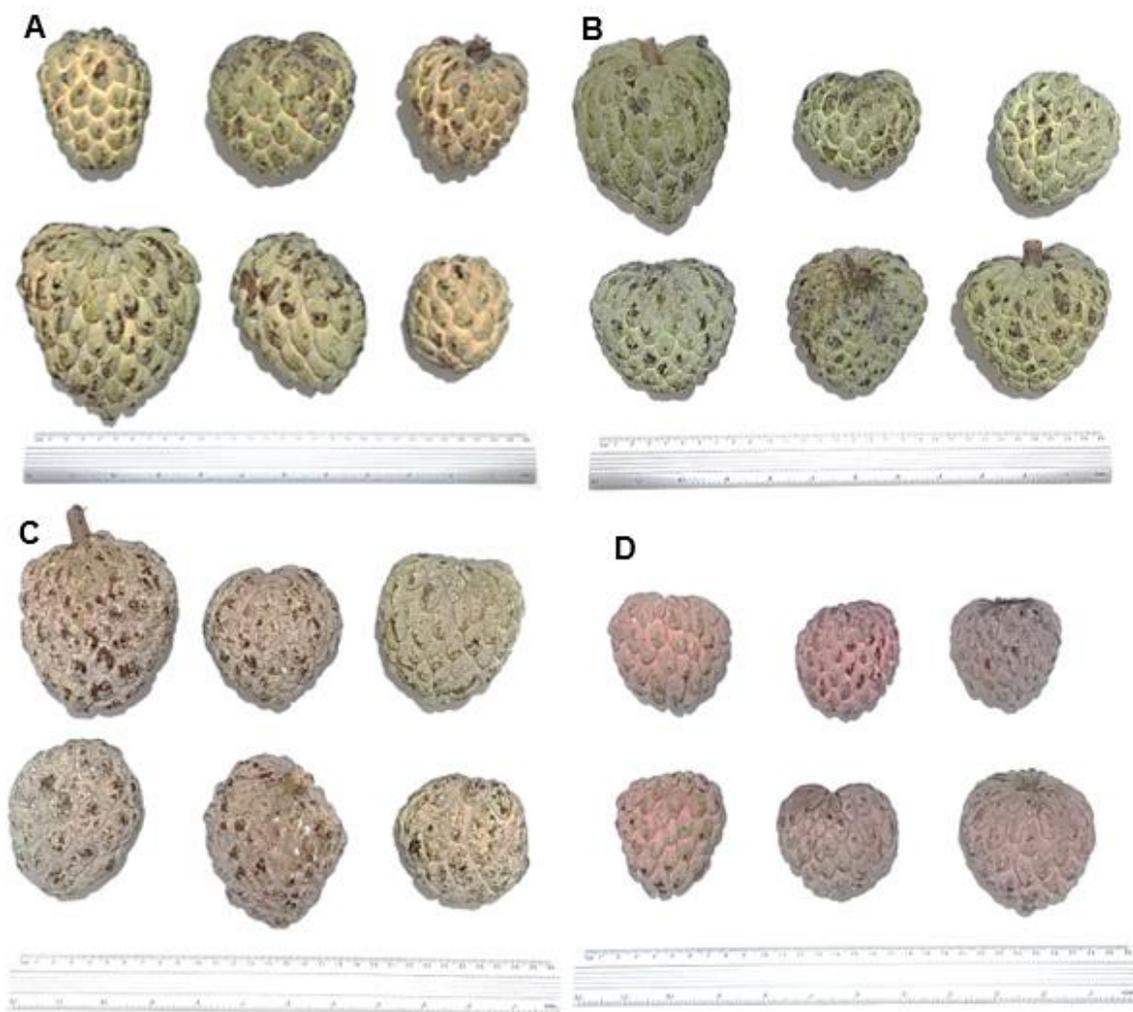


Figura 1. Apariencia de cuatro variantes de frutos de saramuyo 'Verde' (A), 'Amarillo' (B), 'Morado' (C) y 'Rosa' (D), cultivados en Oxkutzcab, Yucatán.

## **Variables evaluadas**

Las dimensiones del fruto se obtuvieron al evaluar el diámetro polar y ecuatorial de los frutos con ayuda de una cinta métrica (Truper®, México) con una sensibilidad de 0.1 cm. El color de los frutos se determinó con ayuda de un espectrofotómetro X-rite (Mod. 3209, EUA), en cada fruto se realizaron tres mediciones de la Luminosidad ( $L^*$ ), cromaticidad( $C^*$ ) y el matiz (h), se reporta la media de las observaciones (Neguerula, 2012).

El peso de cada fruto se determinó con una balanza digital (OAHUS®, EUA) con una sensibilidad de 0.1 g, los frutos fueron seccionados en epidermis, pulpa, semilla y raquis y se obtuvo el peso de cada estructura con una balanza indicada anteriormente.

En la pulpa del fruto se obtuvieron el contenido de sólidos solubles totales con ayuda de un refractómetro digital PAL-1 (ATAGO®, Japón), se colocaron tres a cuatro gotas del jugo del fruto y se obtuvieron las lecturas en °Brix. Posteriormente 1 g de tejido de la pulpa de cada fruto de saramuyo fue molido con 10 mL de agua destilada y se filtró, a partir del homogenizado se obtuvieron 5 mL que se titularon con hidróxido de sodio (0.1 N), utilizando como indicador fenolftaleína al 1 %. Los resultados se expresaron en porcentaje del ácido de mayor concentración en el fruto, ácido málico.

La respiración y producción de etileno se realizó por un método estático (Salveit, 2016) donde un fruto fue colocado en un recipiente de volumen conocido (500 mL) y se dejaron durante dos horas antes de tomar una muestra de 7 mL del gas del espacio de cabeza, que fue guardado en un tubo de vidrio al vacío (Vacuntainer®, EUA), para su posterior evaluación. Se tomó 1 mL del gas para inyectarlo a un cromatógrafo de gases (Agilent® Technologies 7890, EUA), con una columna tipo abierta con empaque de capa porosa de sílica, conectada simultáneamente a un detector de ionización de flama (FID) a una temperatura de 170 °C y otro de conductividad térmica (TCD) a 170 °C, como gas acarreador se utilizó  $N_2$  (2 mL  $min^{-1}$ ). El inyector y horno del cromatógrafo se mantuvieron a una 150 y 80 °C, respectivamente durante las mediciones. Para la cuantificación se utilizaron estándares de  $CO_2$  (460 ppm) y etileno (100 ppm) (Quark INFRA®).

## Análisis de datos

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza y comparación de medias con el método de la diferencia mínima significativa. Se utilizó el software Sigma Plot V. 14 (Systat, San Francisco, CA).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Dimensiones del fruto

Los frutos de las variantes 'Verde', 'Morado' y 'Rosa' mostraron un diámetro polar similar entre 6.20 y 6.37 cm, mientras que la variante 'amarillo' mostró el mayor diámetro 7.20 cm (Figura 2 A). Murtala *et al.* (2018) indica que el diámetro polar del saramuyo es entre 5 y 10 cm. Lo anterior indica que los materiales evaluados, mostraron un tamaño medio a lo reportado en la literatura escrita. El diámetro ecuatorial fue entre 6.04 y 6.37 cm en las variantes 'Verde', 'Amarillo' y 'Morado' y de 5.08 cm en la variante 'Rosa' (Figura 1 B).

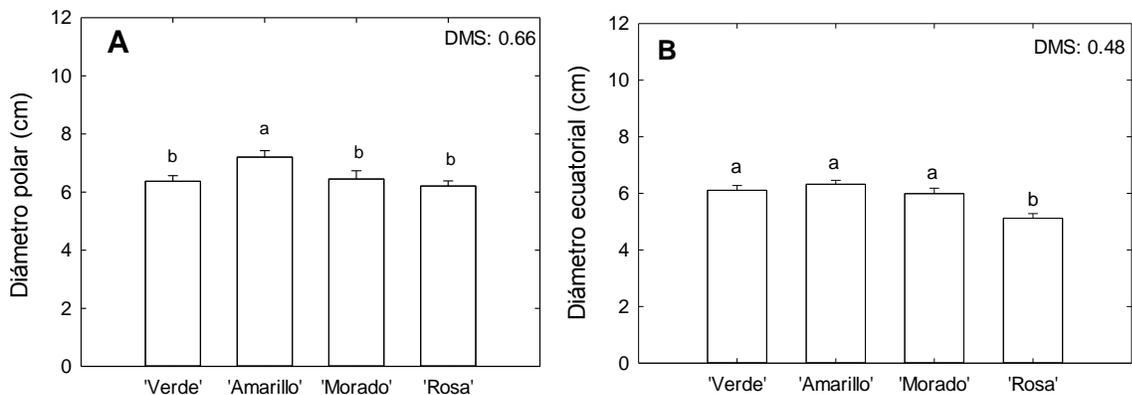


Figura 2. Diámetro polar (A) y diámetro ecuatorial (B) de cuatro variantes de Saramuyo cultivados en Oxkutzcab, Yucatán. Cada barra representa la media de 30 observaciones y su error estándar.

## **Peso del fruto y sus estructuras**

El ecotipo 'Amarillo' tuvo significativamente mayor peso del fruto (180.22 g) en tanto que las variantes 'Verde' y 'Morado' mostraron un peso intermedio (entre 137 y 158.13 g) y la variante 'Rosa' mostró significativamente el menor peso (117.47 g) (Figura 2 A). Similar comportamiento en el peso de la pulpa, epidermis y semilla, donde la variante 'Amarillo' obtuvo los valores mayores y la variante 'Rosa' los valores menores (Figuras 2 B, C y E). En el peso de raquis la variante 'Amarillo' mostró los valores mayores (3.61 g) en tanto que el resto de las variantes: 'Verde', 'Morado' y 'Rosa' mostraron valores similares (entre 2.74 y 2.91 g) (Figura 2 D).

En el mercado de Tailandia, el saramuyo se clasifica en cuatro grupos: 1) tamaño extra largo, frutos promedio de 350 g, 2) tamaño grande, frutos promedio de 300 g, 3) tamaño medio, frutos promedio de 250 g y tamaño pequeño, frutos de tamaño promedio de 160 g (Wongs-Aree, 2011). Para el mercado europeo, el saramuyo es clasificado de acuerdo con su tamaño, con la correspondiente variación máxima (vm) permisible dentro del empaque en gramos. El peso mínimo es 100 g y el peso vario como sigue: de 100-225 g (vm: 75 g), 225 – 245 g (vp: 100 g), 425 -825 g (vp: 200 g), y > 825 g (vp: 300 g) (Wongs-Aree, 2011). Lo anterior indica que los frutos evaluados de las cuatro variantes de saramuyo, son de tamaño pequeño (Figura 2 A). Sin embargo, es necesario realizar mas evaluaciones, ya que la diversidad de saramuyos en Yucatán, no se ha explorado y descrito con detalle.

En proporción la pulpa y la epidermis representan entre 41.9 - 46.6 % y 41.5 – 45.3 % respectivamente, del peso del fruto (Cuadro 1). En tanto que el raquis y las semillas, representan entre 1.7 -2.0 % y 8.8 – 10.6 %, respectivamente del peso del fruto (Cuadro 1). El número de semillas fue significativamente menor en la variante 'Morado' (37) comparado con los ecotipos 'Amarillo', 'Verde' y 'Rosa, donde se cuantificó mayor número de semilla por fruto (43-51). Morton (2013) reportan que en Egipto se describen dos variedades de saramuyo: 'Beni Mazar' y 'Abd El Razik' con 56 a 69.5 % de pulpa y entre 24 y 30 semillas. Lo anterior sugiere la búsqueda de materiales con mayor proporción de pulpa y menor cantidad de semillas para mejorar la aceptación comercial del fruto.

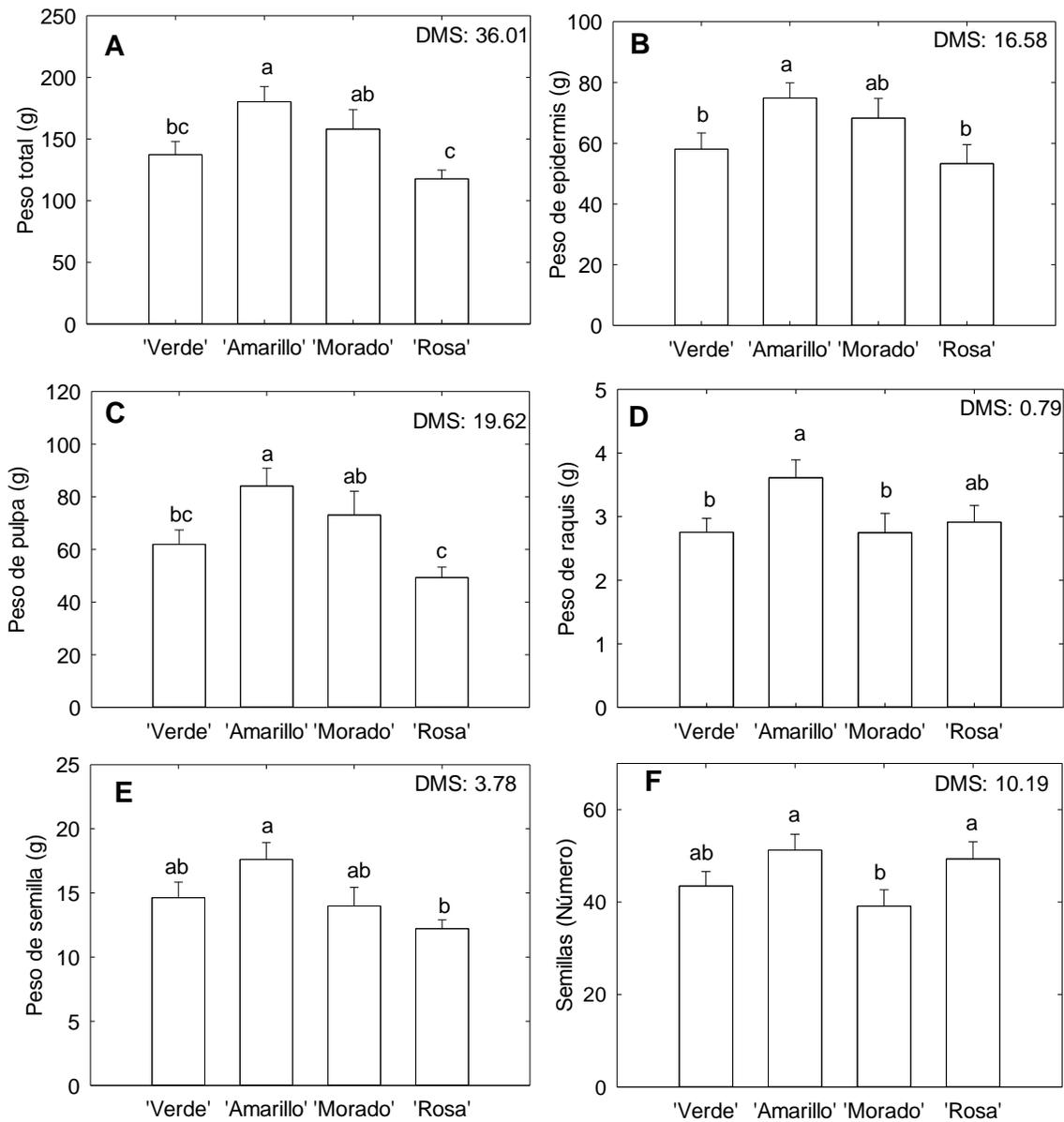


Figura 2. Peso de las estructuras del fruto (A, B, C, D y E) y número de semillas (F) en cuatro variantes de Saramuyo cultivados en Oxkutzcab, Yucatán. Cada barra representa la media de 30 observaciones y su error estándar

## Parámetros de color

El color de la epidermis del fruto indicó que las variantes 'Verde' y 'Amarillo', mostraron valores matiz entre  $h= 94$  y  $98$ , es decir cercano al color amarillo y con tendencia al verde, opacos ( $C^*=$  entre  $21.7$  y  $23.4$ ), con significativamente mayor luminosidad en la variante 'Amarillo' ( $L^*= 55.1$ ) que en la variante 'Verde' ( $L^*= 52.1$ ) (Figura 3 A, C y E). Las variantes 'Morado' y 'Rosa' mostraron valores significativamente diferentes de matiz entre sí, donde la variante 'Rosa' mostro mayor tendencia al color rojo ( $h= 57$ ) (Figura 3 F). Las variantes 'Morado' y 'Rosa' fueron más opacos ( $C^*= 15.2$  y  $16.3$ ) y con menor luminosidad ( $L^*= 45.6$  y  $46.5$ ) que las variantes 'Verde' y 'Amarillo' (Figura 3 B y D).

El color de la pulpa de la variante 'Amarillo' mostró valores tendientes al amarillo ( $h= 95.1$ ), pero las variantes 'Verde' y 'Rosa' ( $h= 90.2$  y  $92.17$ ) mostraron más cercanía al color amarillo, en tanto que 'Morado' se alejó un poco del amarillo con tendencia al naranja ( $h= 85.1$ ) (Figura 3 F). El color amarillo de la pulpa de las variantes de saramuyo fue opaco,  $C^*=$  entre  $14$  y  $15.4$  (Figura 3 D). La pulpa mostró mayor luminosidad en las variantes 'Morado', Rosa' y 'Amarillo' ( $L^*= 66.9$  y  $70$ ) que en la variante 'Verde' ( $L^*= 64.4$ ) (Figura 3 B).

Morton (2013) reporta al menos 10 tipos diferentes de saramuyo, algunos con color de pulpa y epidermis de color rojo, amarillo, rosa, verde y naranja. Wongs-Aree (2011) indican en Tailandia dos grupos: 'Fai' y 'Nang', en el primer grupo 'Fai' están ubicados dos cultivares 'Green Fai' y 'Purple Fai' basados en el color de su epidermis. En el grupo 'Nang' se tienen tres cultivares 'Green Nang', 'Purple Nang' y 'Golden Nang', además de una variedad sin semilla que produce frutos de tamaño pequeño. Se menciona que cultivares de color purpura son atractivos y más si la pulpa contiene color rosa. Lo anterior sugiere que los colores descritos de las variantes de saramuyo en Yucatán pueden ser atractivos para otros mercados, pero aún se debe seguir describiendo la diversidad en la región.

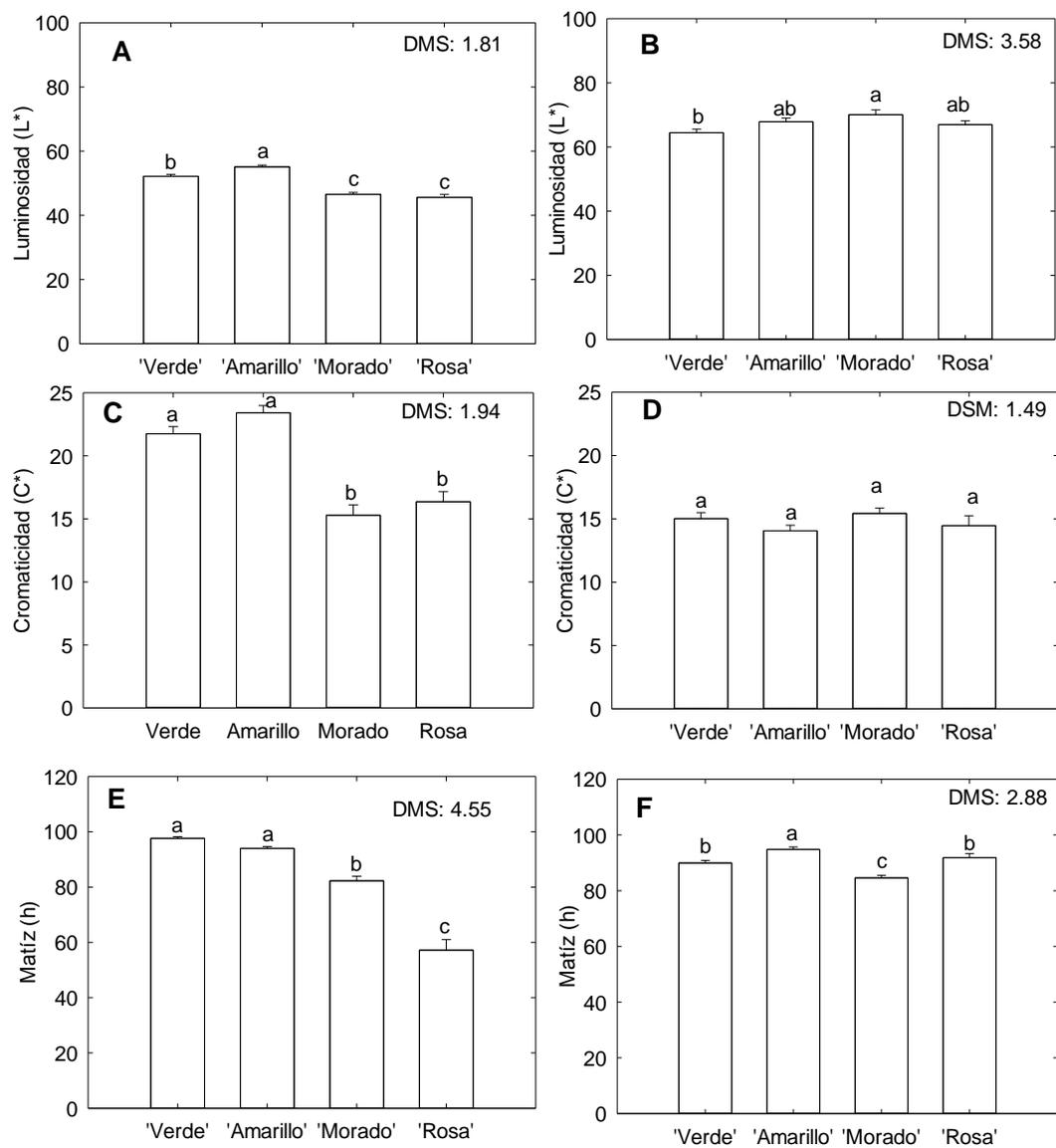


Figura 3. Parámetros de color en epidermis (A, C y E) y pulpa (B, D y F) del cuatro variantes de Saramuyo cultivados en Oxkutzcab, Yucatán. Cada barra representa la media de 30 observaciones y su error estándar

## Sólidos solubles totales y acidez titulable

'Amarillo' y 'Rosa' fueron las variantes de saramuyo con mayor contenido de sólidos solubles totales, con 21.4 y 26.9 °Brix, respectivamente (Figura 4 A). Las variantes 'Morado' y 'Verde' tuvieron entre 37 y 43 % menos sólidos solubles que 'Amarillo' y 'Rosa' (Figura 4 A).

'Rosa' (0.40 %) mostró mayor acidez titulable que 'Verde' y 'Amarillo' (entre 0.33 y 0.35 %) y 'Morado' (0.25 %) mostró la menos acidez titulable de todas las variantes evaluadas (Figura 4 B).

Pal y Kumar (1995) reportan que en dos cultivares de saramuyo, 'Barbados Seedling' y 'Washington-97', tuvieron en madurez de consumo 15 % de azúcares en la pulpa y acidez total entre 0.11 y 0.15 %. Los frutos evaluados de Yucatán mostraron mayor contenido de sólidos solubles y acidez, por lo que se considera que son materiales que pueden competir con materiales de otras partes del mundo y para satisfacer los gustos regionales.

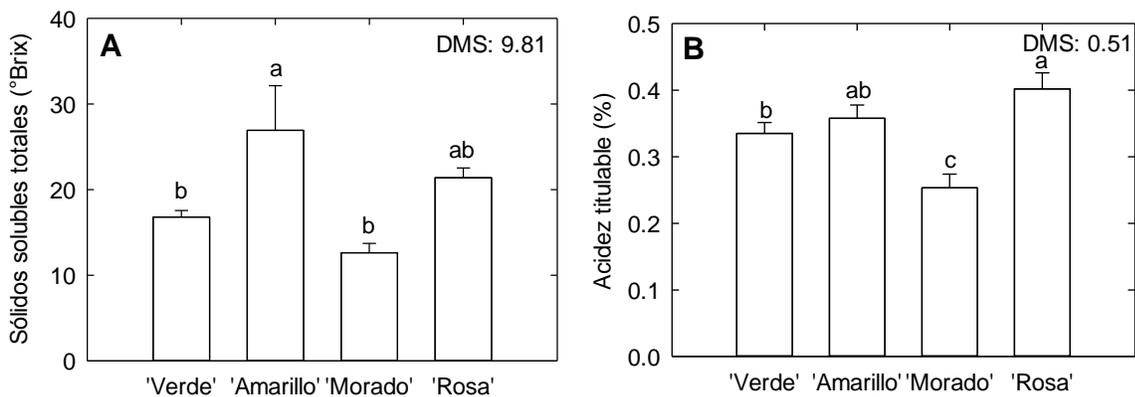


Figura 4. Sólidos solubles totales (A) y acidez titulable (B) en pulpa de cuatro variantes de Saramuyo cultivados en Oxkutzcab, Yucatán. Cada barra representa la media de 30 observaciones y su error estándar.

## Respiración y etileno

La variante 'Rosa' tuvo significativamente la mayor velocidad de respiración y producción de etileno, las variantes 'Verde' y 'Amarillo' produjeron cantidades intermedias de estos gases y la variante 'Morado' mostro 87 y 200 % menos velocidad de respiración y producción de etileno que la variante 'Rosa' (Figura 5 A y B).

El saramuyo es un fruto climatérico, con incremento en la producción de etileno y respiración después de su cosecha, estos gases se incrementa su producción al aumentar la temperatura (Broughton y Goat, 1979). Se reconoce que a mayor producción de etileno o respiración la vida poscosecha de los productos hortícolas es menor (Yahia, et al., 2019). Lo anterior sugiere que el manejo poscosecha de las variantes descritas de Yucatán, tienen diferente producción de etileno y CO<sub>2</sub> entre sí, así el material 'Rosa' al producir mayor cantidad de estos gases, sugiere un metabolismo de mayor velocidad y por lo tanto su proceso de maduración y vida útil sería menor. Sin embargo, es necesario evaluar la vida poscosecha con mayor precisión de las variantes de saramuyo.

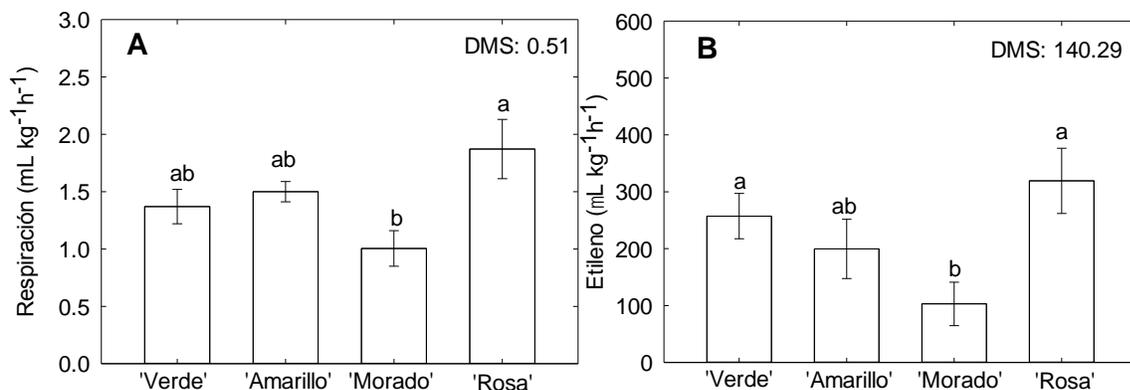


Figura 5. Respiración (A) y etileno (B) en pulpa de cuatro variantes de Saramuyo cultivados en Oxkutzcab, Yucatán. Cada barra representa la media de 30 observaciones y su error estándar.

## CONCLUSIONES

Las variantes evaluadas mostraron diferencias en características de calidad que ayudan a definir el mercado y la vida útil del producto. La diversidad entre los materiales de contenido de azúcares, velocidad de respiración, producción de etileno, dimensiones y tamaño sugieren la realización de evaluaciones poscosecha para determinar la vida útil de las variantes y determinar su manejo una vez cosechados.

## LITERATURA CITADA

Andrés, A. J., and Andrés, H. L. (2011). Biología, diversidad, conservación y uso sostenible de los recursos genéticos de Annonaceae en México. Universidad Autónoma Chapingo, México.

Bolívar-Fernández, N., Sucedo-Veloz, C. Solís-Pereira, S., and Sauri-Duch, E. (2009). Maduración de frutos de saramuyo (*Annona squamosa* L.) desarrollados en Yucatán, México. *Agrociencia* 43, 133-141.

Broughton, W.J. and Guat, T. (1979). Storage conditions and ripening of the custard apple *Annona squamosa* L. *Scientia Horticulturae* 10, 73-82.

Liu, K., Li, H., Yuan, C., Huang, Y., Chen, Y. and Liu, J. (2015). Identification of phenological growth stages of sugar apple (*Annona squamosa* L.) using the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae* 181, 76-80.

Liu, K.D., Yuan, C.C., Jing, G.X., Li, H.L., & Liu, J.K. (2015). Effect of exogenous oxalic acid treatment on ripening and preservation of *Annona squamosa* L. fruits during postharvest storage. *Food Sci.* 14: 329-334.

Morton, J.F. (2013). *Fruits of Warm Climate*. Echo Point, USA.

Murtala, M.M., Abu B. M. F., Mohamed, M., Linatoc, C.A. and Sabrán, F. (2018). Sugar apple – *Annona squamosa* Linn. *In* Exotic Fruits. Reference Guide, Rodrigues, S., Silva, E.O & Brito, E. S., eds. (London, UK: Elsevier) p. 397-402.

Neguerula, I. A. 2012. Is the Color Measured in Food the color that we see? *In Color in Food. Technological and Psychophysical aspects.* Caivano, J.L., M. del. P Buera., eds. (Florida, USA: CRC Press-Taylor & Francis Group) p. 81-91.

Pal, D.K. and Kumar, S. P. (1995). Changes in the physico-chemical and biochemical compositions of custard apple (*Annona squamosa* L.) fruits during growth, development and ripening. *J. Hort. Sci.* 70(4), 569-572.

Salveit, M.E. (2016). Respiratory metabolism. In *Postharvest Ripening Physiology of Crops*, S. Pareek, ed. (USA: CRC Press-Taylor & Francis Group). p. 139-156.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Anuario estadístico de la producción agrícola. En línea: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.

Wongs-Aree, C. (2011). Sugar apple (*Annona squamosa* L.) and atemoya (*A. cherimola* Mill. x *A. squamosa* L.) In *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits*, V. 4., Mangsteen to White sapote, Yahia, E. M., ed. (Oxford, UK: Woodhead Publishing) p. 399-426.

Yahia, E. M. (2019). Classification of Horticultural Commodities. In *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, Yahia, E. M. ed. (Cambridge, MA, USA: Woodhead Publishing) p. 71-97.

## CAPITULO II

### RESUMEN

El saramuyo es una especie tropical nativa de América y se cultiva en diferentes países tropicales de todo el mundo, comúnmente se cultiva en el sur de México, y en zonas tropicales de América Central y del Sur. El objetivo de la presente investigación fue evaluar diferentes concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA) como retardante de la maduración en diferentes temperaturas de almacenamiento postcosecha en frutos de saramuyo (*Annona squamosa* L.). Los frutos de saramuyo fueron recolectados en e madurez fisiológica en Oxkutzcab, Yucatán durante el periodo de agosto a septiembre del 2020 y almacenados a 10 °C y 18 °C por cuatro días, y 26 °C con previa aplicación de ASA dosis de 1.5 mM y 3.0 mM de ASA. Los resultados indican que en los frutos a temperatura ambiente (26° C) con 0 mM ASA y 3.0 mM ASA presentaron mayor pérdida de peso, 25.9 % y 26.3 %, respectivamente, en tanto que frutos donde se aplicó 1.5 mM ASA, tuvieron significativamente menor pérdida de peso (9.9 %). La aplicación de ASA los frutos almacenados a 18 °C tuvieron menor acidez titulables en comparación con los frutos donde se aplicó el ASA en 1.5 y 3 mM, el contenido de sólidos solubles totales en frutos almacenados a 26 °C fue de 14.4 y 18.9 °Brix, sin embargo, los frutos donde se aplicó 1.5 mM de ASA superaron los 25 °Brix. La aplicación de ASA en dosis de 1.5 y 3 mM disminuyó significativamente la velocidad de respiración y en los frutos almacenados a 18 °C se observó que el incremento de la velocidad de respiración fue gradual alcanzado, los frutos almacenados a 10 °C con aplicación de ASA en dosis de 1.5 y 3 mM disminuyeron significativamente la producción de etileno.

**Key words:** ácido acetilsalicílico, enzimas, annona, postcosecha, compuestos fenólicos.

## RETARDADORES DE MADURACIÓN EN FRUTOS DE SARAMUYO (*Annona squamosa* L.)

### INTRODUCCIÓN

El cultivo de Anonáceas presenta grandes perspectivas en México, por una parte, para emplearse en los programas de mejoramiento genético, en el uso como portainjertos o bien como cultivos alternativos ya que poseen un excelente aroma y sabor al paladar. En México se cultivan 7, 250 ha de estos frutales, con un volumen estimado de 54,375 toneladas, en general el cultivo de las Annonaceae no se ha formalizado agronómica y económicamente en México (Hernández *et al.*, 2014).

El saramuyo es una especie tropical nativa de América y se cultiva en diferentes países tropicales de todo el mundo (Jagtap y Bapat, 2012; Lim, 2012), comúnmente se cultiva en zonas tropicales de América Central y del Sur, en el sur de México, en las Indias Occidentales, Bahamas, Bermudas, y ocasionalmente en el sur de Florida. Aunque no hay reportes oficiales de la producción mundial de saramuyo, tiene una gran importancia económica cuando el cultivo es explotado en los países donde se cultiva esta fruta (León-Fernández y Montalvo-González, 2017).

La demanda de frutas ha aumentado considerablemente, ya que son una fuente importante de nutrientes y antioxidantes (León-Fernández y Montalvo-González, 2017). Debido a esta importancia de las frutas como valiosos recursos alimenticios, se están realizando muchos estudios para establecer la calidad, las características fisicoquímicas y los cambios de maduración en el almacenamiento de las propiedades de las frutas. Los suplementos alimenticios ahora se elaboran utilizando diferentes frutas, verduras y también hierbas para proporcionar métodos curativos y preventivos naturales para combatir enfermedades y problemas de salud. (Chande *et al.*, 2014).

Las frutas también contienen cantidades considerables de compuestos fenólicos que representan una gran fuente de antioxidantes. Por lo tanto, es importante evitar la oxidación enzimática de estos compuestos para mantener la calidad de la fruta. El oscurecimiento se relaciona principalmente con la oxidación de compuestos fenólicos endógenos en o-quinonas altamente inestables, que luego se polimerizan en pigmentos marrones, rojos y negros. (Chaves *et al.*, 2011).

Además de los nutrientes como carbohidratos, proteínas, vitaminas, etc., se sabe que contienen metabolitos secundarios como compuestos fenólicos, alcaloides, saponinas. Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios que se encuentran ampliamente en alimentos de origen vegetal y alimentos de origen vegetal. Los ácidos fenólicos predominantes son derivados hidroxilados de ácido benzoico y ácido cinámico. Los ácidos fenólicos están presentes principalmente en las plantas en forma ligada, estos fenólicos han recibido una atención considerable como factores potencialmente protectores contra el cáncer y las enfermedades cardíacas, principalmente debido a sus potentes propiedades antioxidantes y su ubicuidad en una variedad de alimentos de origen vegetal que se consumen comúnmente (Baskaran *et al.*, 2016). Hay pocas investigaciones que han demostrado la presencia de moléculas bioactivas como polifenoles, alcaloides y acetogeninas, por lo tanto, pocos informes sobre los medicamentos y usos farmacológicos de la pulpa de saramuyo (León-Fernández y Montalvo-González, 2017).

Una de las tecnologías poscosecha, para incrementar la vida de los frutos una vez cosechados, es el almacenamiento a temperaturas bajas. Sin embargo, en frutales tropicales, el almacenamiento a temperaturas entre 0 y 13 °C pueden ocasionar daños por frío cuando salen del almacenamiento o aún durante el almacenamiento (Barman *et al.*, 2019). Por lo que es necesario determinar las temperaturas y tiempos umbral para el daño por frío en las especies tropicales; aspecto poco estudiado en saramuyo.

Algunas estrategias para disminuir el daño por frío o retrasar los procesos de la maduración, incluyen la aplicación de productos naturales que sean amigables y que no dañen la calidad organoléptica del producto, algunos de ellos son: el ácido salicílico, las poliaminas, los brasinoesteroides, el ácido jasmonico (Wasim, 2016) y recientemente el hexanal (Paliyath y Padmanabhan, 2019). El principal modo de acción es que estas moléculas ayudan en la estabilización de la membrana, incrementan los sistemas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, retrasan la desintegración de la pared celular, retrasan la síntesis de etileno o inhiben la actividad de enzimas oxidativas de la membrana celular, entre otros (Barman *et al.*, 2019; Soleimani *et al.*, 2016; Serrano *et al.*, 2016, Soleimani *et al.*, 2016; Paliyath y Padmanabhan, 2019).

Los intentos para aprovechar el potencial comercial de estos frutos, fresco o procesados, requiere establecer programas de selección de germoplasma para identificar materiales sobresalientes en producción, comportamiento fisiológico postcosecha y calidad de fruto (Bolívar-Fernández et al. 2009).

En saramuyo, se tienen escasos reportes de las temperaturas adecuadas para incrementar su vida postcosecha, y no se tienen reportes del efecto de la aplicación de retardadores de la maduración en combinación con temperaturas bajas en la vida útil del fruto.

## **OBJETIVO**

Evaluar los cambios postcosecha en frutos de saramuyo *Annona squamosa* L. almacenados a temperatura baja con previa aplicación de ácido acetilsalicílico (ASA).

## **HIPÓTESIS**

Los frutos de saramuyo se pueden almacenar a 15 °C por seis días sin daño por frío, y los frutos con aplicación de ácido acetilsalicílico (ASA), ayudan a incrementar la vida útil hasta 3 días más.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización y material vegetal**

Frutos de saramuyo fueron recolectados en su índice de madurez fisiológica durante el periodo de agosto a septiembre del 2020 en un horario de 10:00 am hasta las 14 horas, siguiendo el criterio de Cituk (2019, Com. Pers.), el cual indica que existe un cambio de coloración de los carpelos al tornarse de color verde amarillento, los frutos fueron colectados en huertas localizadas en el sur del estado a nivel semicomercial en Oxkutzcab, Yucatán, México. Los frutos fueron lavados con agua clorada al 1 % y se dejaron secar una hora a temperatura ambiente (26 °C; 69 % HR), posteriormente los frutos fueron secados seleccionados, acondicionados, procurando que no presentaran daños mecánicos, afectaciones por patógenos o insectos para ser evaluados.

### **Diseño de tratamientos**

El trabajo se dividió en dos experimentos, donde se evaluaron siete tratamientos a temperatura ambiente y refrigeración (Cuadro 1). En total se utilizaron 162 frutos de saramuyo en madurez fisiológica. Los frutos almacenados a temperatura ambiente fueron evaluados cada dos días (Cuadro 1). Los frutos almacenados a temperatura baja se evaluaron al salir del almacenamiento cada dos días durante cuatro días después de salir de la refrigeración (Cuadro 1). En cada muestreo la unidad experimental fue un fruto con seis repeticiones. El diseño experimental utilizado fue uno completamente al azar.

Cuadro 1. Tratamientos a evaluar en frutos de saramuyo del experimento 1.

Tratamiento	Día de evaluación				
Testigo	0 (inicial)	2	4	6	8
Frutos a temperatura ambiente	0 (inicial)	2	4	6	8
Frutos a temperatura ambiente previamente tratados con ASA a 1.5 mM	0 (inicial)	2	4	6	8
Frutos a temperatura ambiente previamente tratados con ASA a 3.0 mM	0 (inicial)	2	4	6	8
Frutos almacenados por 4 d a 10 °C previamente tratados con ASA a 1.5 mM	0 (inicial)		4	6	8
Frutos almacenados por 4 d a 10 °C previamente tratados con ASA a 3.0 mM	0 (inicial)		4	6	8
Frutos almacenados por 4 d a 18 °C previamente tratados con ASA a 1.5 mM	0 (inicial)		4	6	8
Frutos almacenados por 4 d a 18 °C previamente tratados con ASA a 3.0 mM	0 (inicial)		4	6	8

## **Variables evaluadas**

### **Respiración y producción de etileno.**

La velocidad de producción de CO<sub>2</sub> y etileno fueron cuantificados por el sistema estático (Salveit, 2016). Para esto se colocaron los frutos de cada tratamiento de masa conocida en recipientes de 500 mL de volumen, después los recipientes fueron sellados herméticamente durante tres horas para posteriormente tomar dos muestras por fruto que se guardaron en un tubo de plástico al vacío (Vacuntainer®, EUA) hasta su evaluación. Un mililitro de gas del tubo se inyectaron a un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 7890A GC). El inyector y el horno del cromatógrafo se mantuvieron en temperaturas de 150 y 80 °C respectivamente durante las mediciones. Para la cuantificación se utilizaron estándares de CO<sub>2</sub> (460 ppm) y etileno (100 ppm) (Quark INFRA®).

### **Pérdida de peso.**

La pérdida de peso se determinó pesando los frutos de forma individual diariamente en una balanza electrónica digital Ohaus (Adventurer™ Pro AV8101, Ohaus Corporation, Pine Brook, NJ USA) y se obtuvo el porcentaje de pérdida de peso por cada día de evaluación con respecto al día inicial para esto se utilizó la siguiente formula:

$$Perdida\ de\ peso\ (\%) = \frac{(Peso\ inicial - Peso\ final)}{Peso\ inicial} \times 100$$

## **Firmeza**

Para evaluar la firmeza de los frutos se retiró una porción de la cascará en dos lados opuestos de la parte ecuatorial con un texturometro (Chatillon, EUA) que cuenta con un puntal de tipo diente de 0.7 cm de diámetro. En cada fruto se realizaron dos evaluaciones en lados opuestos del fruto. Los resultados se expresan en N.

## **Color**

Se determinó el color de la epidermis y pulpa de los frutos con ayuda de un espectrofotómetro X-rite mod. SP-64. Los parámetros que se midieron fueron Luminosidad ( $L^*$ ), Cromaticidad ( $C^*$ ) y Matiz ( $h$ ) en la cáscara del fruto (Neguerula, 2012).

## **Acidez titulable**

Para medir esta variable se utilizó el método de titulación con hidróxido de sodio, propuesto por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1995), el cual se realizó tomando 1 g de pulpa el cual se mezcló con 15 mL de agua destilada, la mezcla se colocó dentro de un tubo de ensayo y se homogenizó con un Ultraturrax (IKA, USA). Posteriormente, se filtró y del filtrado se tomaron 5 mL que se colocaron en un matraz Erlenmeyer, se agregaron tres gotas de fenolftaleína, finalmente se tituló con hidróxido de sodio NaOH (0.1 N). Los resultados que se obtuvieron se expresaron como porcentaje de ácido málico.

## **Sólidos solubles totales.**

Los sólidos solubles totales se determinaron colocando cuatro gotas del filtrado de la mezcla que contenía 1 g de pulpa del fruto homogenizado en 15 mL de agua destilada. Las gotas se colocaron en un refractómetro digital ATAGO Pal-1® (Japón; 0 a 45 %) y se determinaron las lecturas en °Brix. Se consideró el factor de dilución para reportar el valor final.

### **Proteína soluble y actividad enzimática.**

La proteína soluble y actividad enzimática se determinaron a partir de polvo de acetona, donde 10 g de pulpa se homogenizaron con 25 mL de acetona fría (-15 °C), el homogenizado se filtró al vacío; este proceso se repitió al menos 2 veces hasta que la acetona no mostró color, después se dejó secar a temperatura ambiente en una caja Petri. Se tomó el peso del polvo obtenido para determinar la relación peso fresco / peso seco y posteriormente se almacenó en un congelador (-20 °C) hasta el momento de su utilización para las evaluaciones enzimáticas.

La proteína soluble se determinó por el método de Bradford (1976). Se mezclaron 0.5 g de polvo de acetona con 5 mL de buffer Tris-HCl 0.1M (pH 7.1) frío en un tubo de vidrio de 25 mL, se homogenizó y posteriormente se transfirió a tubos de polipropileno de 15 mL para centrifugarse a 12000 rpm por 20 min a 4 °C, después del centrifugado se dejaron las muestras en reposo hasta temperatura ambiente, posteriormente se tomaron 0.1 mL del sobrante al cual se le adicionara 5 mL de la solución de Coomassie Blue y se agitó y se vació la solución en una celda de cuarzo (4 mL), se registró la absorbancia en un espectrofotómetro a 595 nm. La cuantificación se realizó mediante la curva de calibración con albúmina de bovino (0-100 µg).

### **Polifenol oxidasa (PFO)**

Se homogenizó 0.2 g de polvo de acetona 15 mL de Tris-HCl 0.1 M con pH 8.5 que contenía 1 % de polivinilpirrolidona (PVP). Se mezcló en un homogeneizador de tejidos durante 30 s; posteriormente la mezcla se centrifugó por 20 min a 9000 rpm a 4 °C. El sobrenadante se utilizó para evaluar el cambio de absorbancia a 420 nm en el espectrofotómetro. Para el ensayo de la actividad enzimática se emplearán 3 mL de catecol 60 mM disuelto en un amortiguador Tris-HCl 100 mM, pH 7.1 y 0.2 µL del sobrenadante. La actividad enzimática se reportó como UAE g<sup>-1</sup> de peso fresco, donde una unidad de actividad enzimática es igual al cambio de absorbancia de 0.001 por minuto.

### **Peroxidasa (POD).**

Se homogenizó 0.2 g de polvo de acetona 15 mL de Tris HCl 0.1 M con pH 7.1. La mezcla se centrifugó a 9000 rpm por 20 min a una temperatura de 4 °C y se tomó el sobrenadante. En una celda de cuarzo se mezclarán 2.6 mL del amortiguador TrisHCl 100 mM, pH 7.1, 0.25 mL de guayacol 0.1 M, 0.1 mL de peróxido de hidrógeno 0.25 % y 0.05 mL del sobrenadante; se determinará el cambio de absorbancia a 470 nm en 3 min. La actividad enzimática se reportará como UAE g<sup>-1</sup> de peso fresco, donde una unidad de actividad enzimática (UAE) es igual al cambio de absorbancia de 0.001 en un minuto.

### **Catalasa (CAT)**

Se homogenizó 0.2 g de polvo de acetona 15 mL de Tris-HCl 0.1 M con pH 7.1, de la mezcla se centrifugó a 9000 rpm por 20 min a una temperatura de 4 °C y se rescató el sobrenadante. La actividad de CAT se determinó en una celda de cuarzo donde se mezclaron 3 mL de un amortiguador 10 mM Tris-HCl, pH 7.1 y 0.1 mL de peróxido de hidrógeno 0.88 % en 100 mM de Tris-HCl. Se observó el cambio en absorbancia a 240 nm, y la actividad enzimática se reportará como UAE g<sup>-1</sup> de peso fresco, donde una unidad de actividad enzimática (UAE) es igual al cambio de absorbancia de 0.001 en un minuto.

### **Fenoles totales**

Para cuantificar los fenoles totales se empleó el método espectrofotométrico de Folin & Ciocalteu basado en el carácter reductor, utilizando como reactivo una mezcla de ácidos fosfowolfrámico y fosfomolibdico en medio básico, que se reducen al oxidar los compuestos fenólicos, originando óxidos azules de wolframio (W8O23) y molibdeno (Mo8O23). La absorbancia del color azul formado se midió a 765 nm. Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico por 100 g de pulpa de fruta (Kuskoski *et al.* 2005). En breve, se tomaron 50 µL del sobrenadante de la muestra, se agregaron 2.5 mL de Folin & Ciocalteu, la muestra se agitó y se agregaron 2 mL de carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) al 20 %. La aplicación del Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 20 % se llevó a cabo entre el primer y antes del octavo

minuto, después de preparada la mezcla. La mezcla se dejó reposar por 30 minutos lejos de la luz, se tomó el tiempo a partir del que se agregue el  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 20 %. Se procederá con la lectura en el espectrofotómetro, en el rango de 765 nm. El espectrofotómetro (BioTek®) se calibrará con un blanco (agua desionizada). Se utilizó una curva patrón de ácido gálico y se reportó en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de peso fresco ( $\text{mg EAG g}^{-1}\text{p.f.}$ ).

### **Análisis de datos**

Los datos fueron analizados con ayuda del software Sigma Plot V. 14 (Systat, San Jose, CA) donde se realizó un análisis de varianza por día de evaluación y comparación de medias por el método de Tukey (0.05).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Cambios físicos

#### Pérdida de peso

El porcentaje de la pérdida de peso en los frutos de saramuyo durante los primeros días de evaluación, no mostro diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Figura 1). Al día ocho de evaluación los frutos a temperatura ambiente (26° C) a concentraciones de 0 mM ASA y 3.0 mM ASA, presentaron entre 25.9 % y 26.3 % de pérdida de peso, respectivamente, en tanto que frutos donde se aplicó 1.5 mM ASA, tuvieron significativamente menor pérdida de peso, 9.9 % (Figura 1 A).

Los frutos almacenados a 10 °C sin aplicación de ASA mostraron menor pérdida de peso en comparación con aquellos frutos que fueron tratados con 1.5 mM y 3.0 mM ASA (Figura 1 B). En los frutos almacenados a 18 °C la aplicación de ASA tuvo efecto positivo ya que los frutos con 0 mM de ASA tuvieron 26 % de pérdida de peso, en tanto que los frutos tratados con 1.5 mM y 3.0 mM ASA tuvieron entre 20 y 21 % de pérdida de peso en el periodo de evaluación (Figura 1 C). Vishnu Prasanna *et al.* (2000), reportan que la máxima pérdida de peso de  $5.0 \pm 5.2$  % fue observado cuando los frutos fueron almacenados por  $9 \pm 12$  días a 15 y 10 °C.

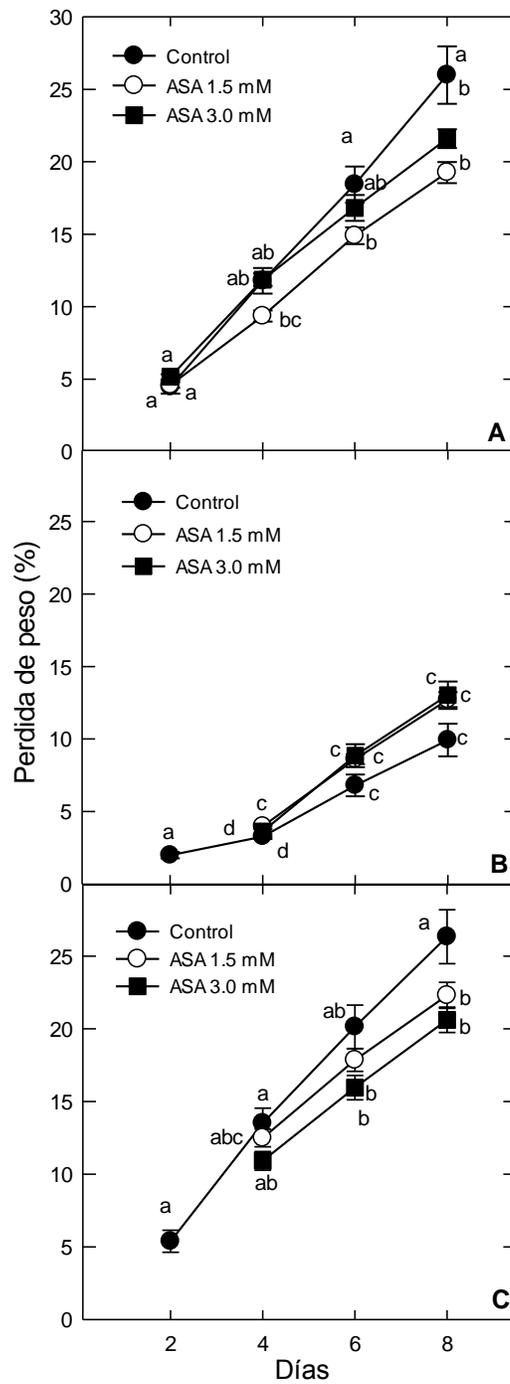


Figura 1. Pérdida de peso (%) de frutos de saramuyo sometidos a diferentes tratamientos de temperaturas y concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA), durante 8 días: a)  $26 \pm 2$  °C, b) 10 °C, c) 18 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

## **Firmeza**

La firmeza de los frutos almacenados a 26 °C sin aplicación de ASA, un día después de la cosecha fue de 101.5 N y de 0.81 N a los seis días. Bolívar-Fernández *et al.* (2009) afirman que existe una disminución de la firmeza de la pulpa desde 107.9 N, 1 d después de cosecha, hasta 3.9 N a los 4 d, lo cual fue similar en el presente trabajo, con la diferencia que la menor firmeza a los seis días (Figura 2 A). Los frutos sin aplicación de ASA almacenados a 26 y 18 °C mostraron una disminución significativa de 101.4 a 1.45 N en la firmeza del día 0 al día 2, en tanto que los frutos sin aplicación de ASA almacenados a 10 °C los valores iniciales fueron de 107.1 N durante el día 0 a 10.2 N en el día 2.

Los frutos donde se aplicó ASA en dosis de 1.5 y 3.0 mM a 10 °C, mostraron significativamente mayor firmeza que los frutos donde no se aplicó ASA (Figura 2 B). Por otra parte, los frutos almacenados a 18 °C, tanto los frutos donde se aplicó ASA como aquellos donde no se realizó la aplicación no mostraron diferencias significativas entre ellos (Figura 1 C). Mo *et al.* (2008) al evaluar la aplicación de Ácido Salicílico (AS) determinaron que la firmeza del fruto fue mayor al incrementar la dosis de 0 a 1.2 mmol L<sup>-1</sup>, lo que disminuye a velocidad de deterioro de la planta.

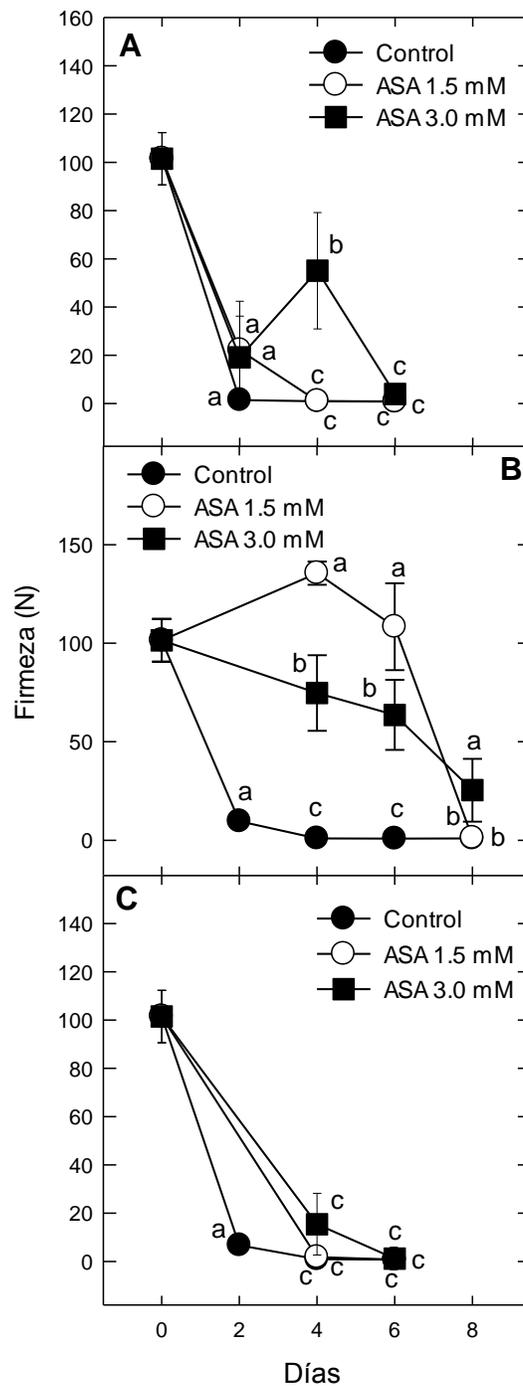


Figura 2. Firmeza (N) de frutos de saramuyo sometidos a diferentes tratamientos de temperaturas y concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA), durante 8 días: a)  $26 \pm 2$  °C, b) 10 °C, c) 18 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

## Color Epidermis

La luminosidad en los frutos almacenados a 26 ° disminuyó en 35 % durante los ocho días, en tanto que los frutos donde se aplicó 1.5 a 3 mM la disminución fue de 20 % y 34 %, respectivamente (figura x). Los frutos almacenados a 10 °C sin aplicación mostraron una disminución del 26 % durante ocho días en tanto que los frutos donde se aplicó ASA en 1.5 y 3 mM la disminución fue de 18 % (Figura x). Finalmente, en los frutos almacenados a 18 °C donde no se aplicó el ASA la luminosidad disminuyó en 28.2 %, mientras que los frutos donde se aplicó ASA en 1.5 y 3 mM la disminución de la luminosidad fue entre 38.2 y 40 % (Figura x).

La cromaticidad mostró una disminución durante el periodo de evaluación, este parámetro mostró valores bajos al iniciar el experimento ( $C^* = 18-23$ ) y al avanzar la madurez el color se hizo muy opaco alcanzados valores cercanos al cero ( $C^* = 3 - 12$ ), no detectándose diferencias entre los frutos sin aplicación de ASA a 26 °C y donde se aplicó en 1.5 y 3 mM (Figura x). Los mismos tratamientos a 10 y 18 °C no mostraron diferencias entre tratamientos (Figura x), aunque si se observa un efecto de la temperatura ya que en los frutos a 10 °C el cambio de la cromaticidad fue de menor intensidad que en los frutos almacenados a 18 °C (Figura x).

El matiz, sugiere que los frutos de saramuyo cambian de un color verde amarillo ( $h = 91-100.8$ ) hacia un color naranja o rojo ( $h = 26 - 66$ ) (figura x). Se observó efecto en el cambio del matiz solo por la temperatura, ya que los frutos almacenados a 10 °C el color se mantuvo entre amarillo y naranja ( $h = 70 - 90$ ) y los almacenados a 18 °C el color cambió hacia el rojo ( $h = 40-60$ ) (Figura x). No se observó claro efecto de la aplicación del ASA.

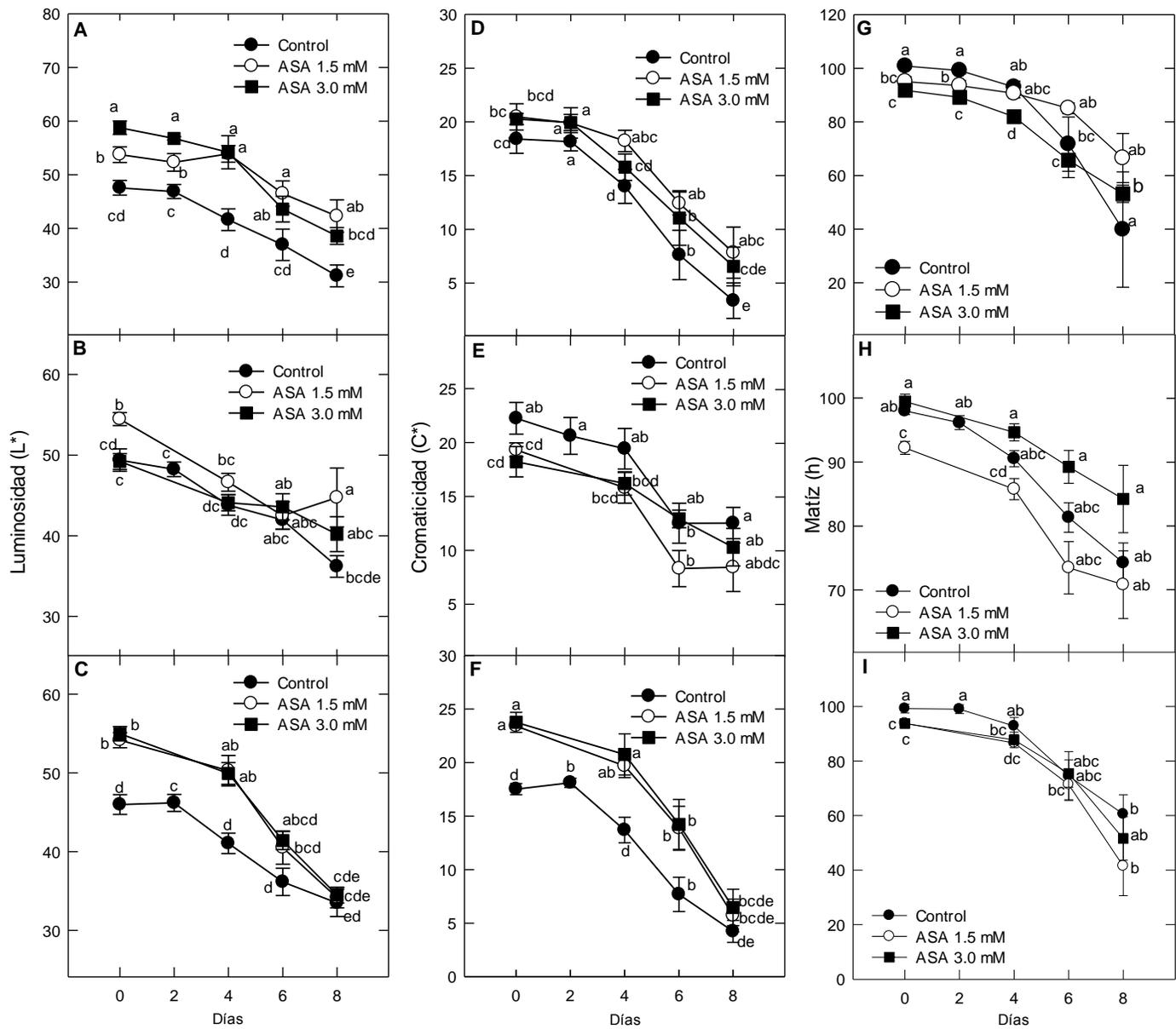


Figura 3. Componentes del color ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $h$ ) en epidermis de frutos de saramuyo a diferentes tratamientos de temperaturas y concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA), durante 8 días: a), d) y g)  $26 \pm 2$  °C, b), e) y h) 10 °C, c), f) e i) 18 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

## Pulpa

La luminosidad de la pulpa en los frutos almacenados a 26 °C y sin aplicación de ASA disminuyó drásticamente ( $L^* = 54$ ) durante los ocho días de evaluación (Figura x), similar comportamiento mostró los frutos donde se aplicó ASA en 1.5 mM ( $L^* = 63$ ), no así los frutos donde se aplicó 3 mM de ASA quienes la luminosidad disminuyó de  $L^* = 71$  (Figura x). En los frutos almacenados a 10 °C, la luminosidad se mantuvo en valores entre  $L^* = 78$  y 85 durante seis días y posteriormente disminuyó, lo que sugiere un efecto positivo de la temperatura; no se observó efecto de la aplicación de ASA (Figura x). Finalmente, los frutos almacenados a 18 °C no se detectaron diferencias entre tratamientos, y la tendencia fue a disminuir de valores de  $L^* = 90$  a valores entre  $L^* = 60$  y 70 (Figura x).

La cromaticidad de la pulpa se vio disminuído de  $C^* = 19$  a  $C^* = 14$ , en los frutos almacenados a 26 °C sin aplicación de ASA durante ocho días de evaluación (Figura x), similar comportamiento mostró los frutos donde se aplicó ASA en 1.5 y 3 mM (Figura x). En el almacenamiento a 10 y 18 °C similar comportamiento se observó de la cromaticidad, sugiriendo que la pureza del color en la pulpa disminuye significativamente durante la maduración (Figura x).

El color tendiente al amarillo de la pulpa del saramuyo mostro poco cambio en los frutos cuando se almacenaron a 26 °C sin aplicar ASA, de  $h = 88$  a  $h = 85$ , en un periodo de 8 días (Figura x). Sin embargo, se observó que la aplicación de ASA mantuvo o incremento ligeramente el color hacia el amarillo,  $h =$  entre 92 y 95 (Figura x). En los frutos almacenados a 10 °C el color se mantuvo tendiente al amarillo sin diferencias entre los tratameitnos, entre  $h = 85-90$  (Figura x). Finalmente en los frutos almacenados a 18 °C el color se incremento ligeramente de un color amarillo naranja ( $h = 85$ ) a un color amarillo verdoso ( $h = 91-100$ ) (Figura x). La aplicación de 1.5 mM mostró cierto efecto al incrementar el color, con mayor evidencia a 26 °C y 18 °C (figura x).

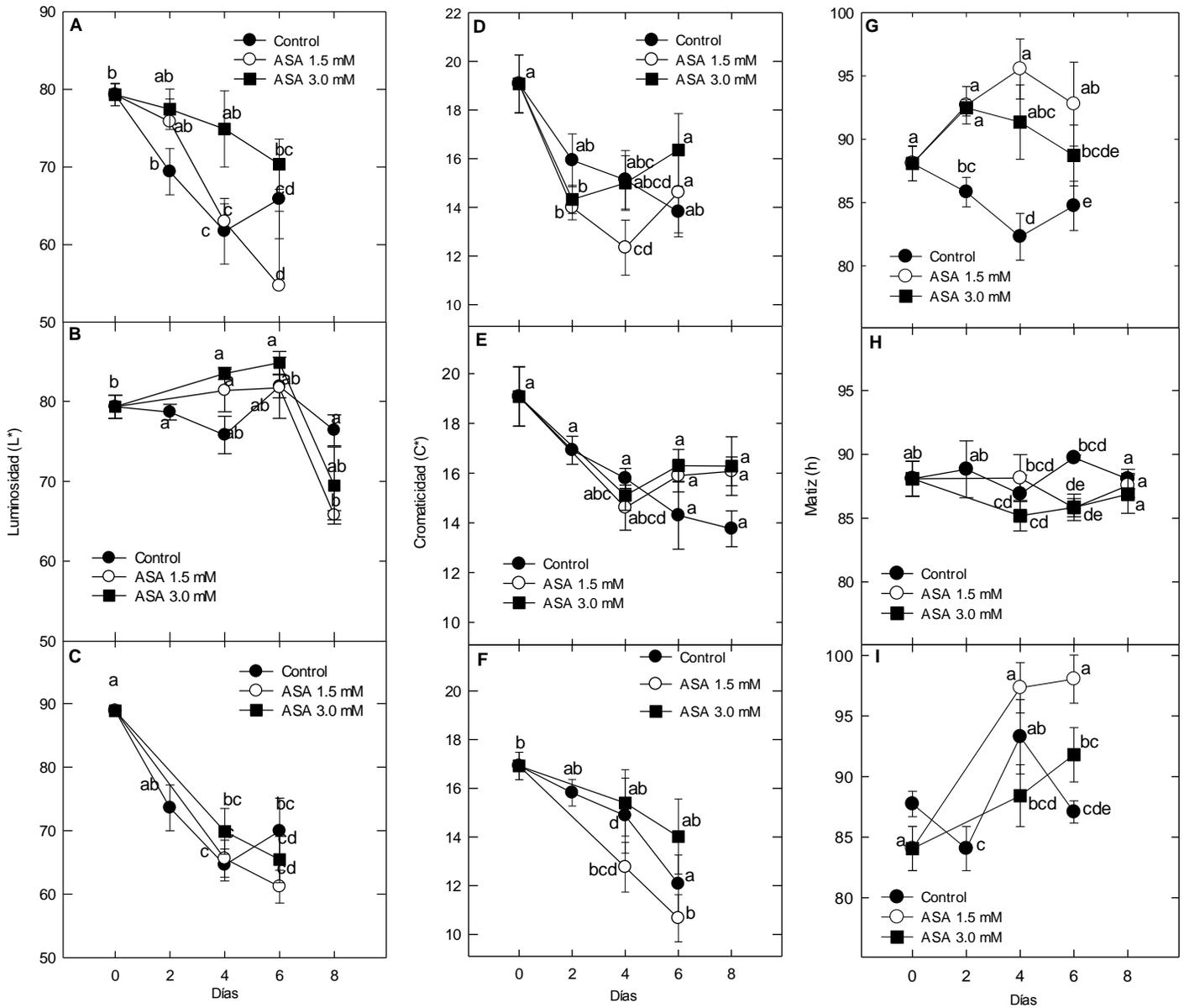


Figura 4. Componentes del color ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $h$ ) en pulpa de frutos de saramuyo sometidos a diferentes tratamientos de temperaturas y concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA), durante 8 días: a), d) y g)  $26 \pm 2$  °C, b), e) y h) 10 °C, c), f) e i) 18 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

## **Cambios químicos**

### **Acidez titulable**

Durante los días de evaluación en la mayoría de los tratamientos de almacenamiento (26°, 10° y 18° C) se encontraron tendencias similares, aquellos frutos que no fueron tratados con retardantes de maduración (ASA), mantuvieron valores superiores en comparación con aquellos frutos que se sometieron a dosis de 1.5 y 3.0 mM ASA (Figura 5).

Los frutos almacenados a 26 °C sin aplicación de ASA mostraron valores mayores a los frutos que fueron tratados con 1.5 y 3.0 Mm ASA (Figura 5 A). En los frutos almacenados a 10 °C sin aplicación de ASA el máximo de acidez titulable se observó al segundo día de evaluación, en tanto que los frutos donde se aplicó el ASA en 1.5 y 3. mM el máximo de acidez titulable se obtuvo el sexto día de evaluación, lo que sugiere que la aplicación de ASA retraso el proceso de maduración del saramuyo (Figura 5 B). Finalmente, en los frutos almacenados a 18 °C la acidez titulable fue significativamente menor en los frutos donde se aplicó el ASA en 1.5 y 3 mM, comparado con los frutos sin aplicación de ASA (Figura 5 C).

Pal y Sampath (1995) indican que la acidez titulable de los frutos de saramuyo se incrementa durante madurez fisiológica y la madurez de consumo. Mo et al. (2008) indican que la aplicación de AS en dosis de 0 a 1.2 mmol L<sup>-1</sup>, disminuye la acumulación de la acidez titulable, asociándolo a un efecto del AS en retrasar la senescencia del fruto. En el presente trabajo el ASA mostró un efecto similar, ya que retraso la acumulación de acidez titulable (Figura 5).

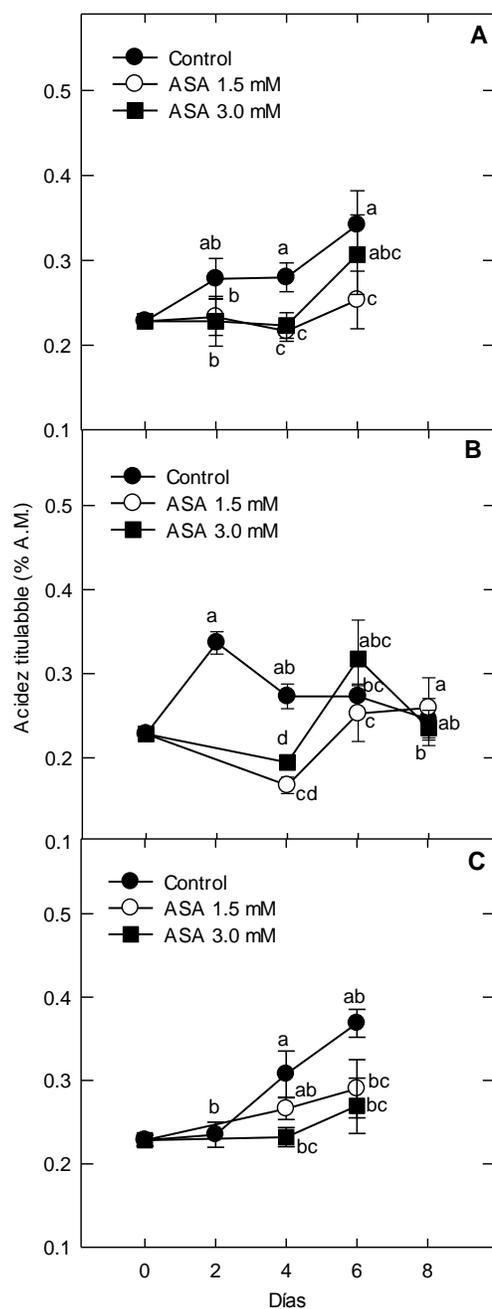


Figura 5. Porcentaje de acidez titulable (mEq de ácido málico) en pulpa de frutos de saramuyo sometidos a diferentes tratamientos de temperaturas y concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA), durante 8 días: a)  $26 \pm 2$  °C, b) 10 °C, c) 18 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

## **Sólidos solubles totales**

Se observó que los cambios en el contenido de los sólidos solubles totales fueron diferentes en dependencia de la temperatura de almacenamiento, la aplicación de las diferentes concentraciones de ASA y los días después de la cosecha.

El mayor contenido de sólidos solubles totales se determinó en los frutos a temperaturas de 26 °C y 18 °C (Figura 6 A y C), los frutos almacenados a 26 °C tuvieron concentraciones entre 14.4 y 18.9 °Brix (Figura 6 A), similar tendencia se determinó en los frutos almacenados a 18 °C, sin embargo, los frutos donde se aplicó 1.5 mM de ASA la concentración de sólidos solubles totales superó los 25 °Brix (Figura 6 B). El contenido de los sólidos solubles totales en frutos almacenados a 10° C fue menor en comparación a frutos almacenados a 26° y 18° C, no se determinaron diferencias entre los tratamientos evaluados, el contenido de sólidos solubles totales al día 4 fue entre 6.9 y 10.9 °Brix y al octavo día fue de entre 10.1 y 16.8 °Brix, respectivamente. Bolívar-Fernández *et al.* (2009) registraron que el contenido de sólidos solubles totales aumentó significativamente de 12.5 a 21.2 °Brix al primero y cuarto día de maduración respectivamente. La aplicación de AS retrasa la maduración y por lo tanto la acumulación de los sólidos solubles totales (Mo et al., 2008), sin embargo, en el presente trabajo no se observó este efecto.

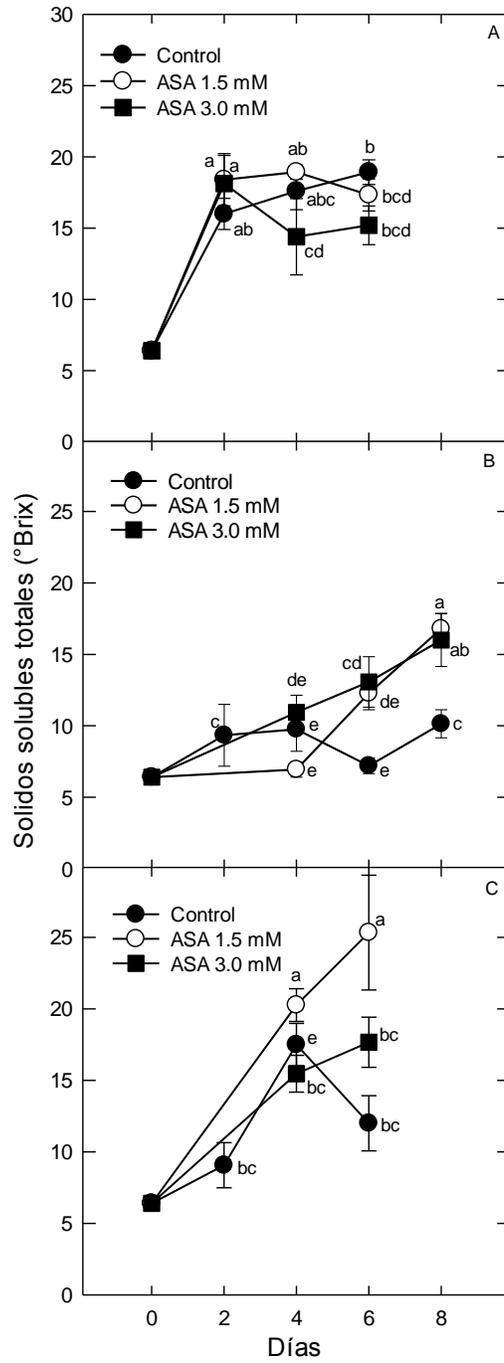


Figura 6. Concentración de salidos solubles totales (°Brix) en pulpa de frutos de saramuyo sometidos a diferentes tratamientos de temperaturas y concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA), durante 8 días: a)  $26 \pm 2$  °C, b) 10 °C, c) 18 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

### **Proteína soluble.**

Los frutos de saramuyo almacenados a temperatura ambiente (26 °C) sin aplicación de ASA, mostraron menor acumulación de proteína soluble en comparación con los frutos donde se aplicó 1.5 y 3.0 mM ASA (Figura 7 A). En el sexto día de evaluación la concentración de los frutos sin aplicación de ASA fue de 35.8 mg g<sup>-1</sup> peso seco, mientras que los frutos donde se aplicó 1.5 y 3 mM la concentración alcanzó 73.2 y 79.3 mg g<sup>-1</sup> peso seco (Figura 7 A).

El contenido de proteína soluble aumento hasta 73.1 mg g<sup>-1</sup> peso seco el segundo día de evaluación en frutos de saramuyo almacenados a 10° C sin aplicación de ASA posteriormente disminuyó significativamente hasta 18.1 mg g<sup>-1</sup> peso seco (Figura 7 B). En los frutos almacenados a 10° C con aplicación de 1.5 y 3.0 mM ASA el contenido de proteína soluble se incrementó paulatinamente alcanzado su máximo en el día ocho con 80.7 y 62.2 mg g<sup>-1</sup> de peso seco, respectivamente (Figura 7 B).

En frutos almacenados a 18° C la concentración de proteína soluble inicial fue de 20. 4 mg g<sup>-1</sup> peso seco y se incrementó hasta entre 24.2 y 55.24 mg g<sup>-1</sup> de peso seco en el sexto día de evaluación, respectivamente (Figura 7 B). Las proteínas se incrementan durante la maduración de algunos frutos, alcanzando su máxima acumulación en la etapa de madurez de consumo (Júnior y Andrade, 2012). El incremento de la concentración de las proteínas se atribuye a que el proceso de maduración requiere de la participación de varias proteínas para el control metabólico del proceso (Tucker, 1993). En el presente trabajo se observa que a 10 °C el ASA retrasa la acumulación de las proteínas, lo que sugiere un retraso en la maduración.

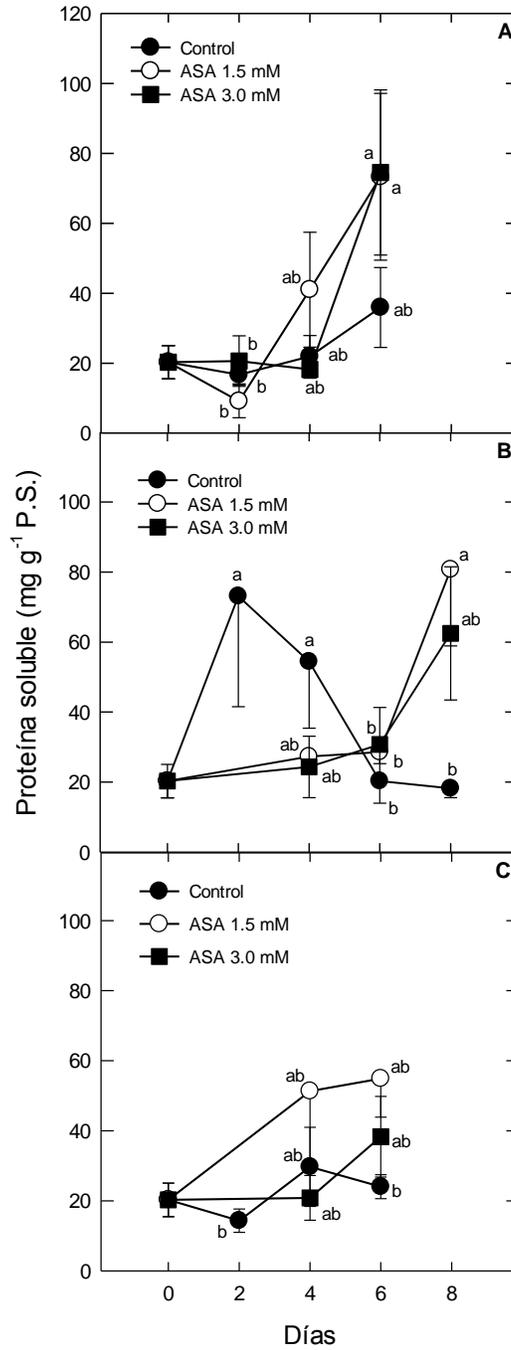


Figura 7. Concentración de proteína soluble (mg g<sup>-1</sup> P.S.) en pulpa de frutos de saramuyo sometidos a diferentes tratamientos de temperaturas y concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA), durante 8 días: a) 26 ± 2 °C, b) 10 °C, c) 18 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

### **Polifenol oxidasa (PFO).**

La actividad de la enzima polifenol oxidasa en los frutos almacenados a 26° C sin aplicación de ASA alcanzó un incremento máximo a los seis días de evaluación con 5.3 UAE g<sup>-1</sup> de peso seco y posteriormente disminuyó (Figura 8 A) en los frutos donde se aplicó ASA en dosis de 1.5 y 3.0 mM la actividad se incrementó alcanzando su máxima actividad a los ocho días de evaluación entre 12 y 15 UAE g<sup>-1</sup> de peso seco (Figura 8 A). Lo anterior sugiere un retraso en el proceso de maduración, ya que se retrasó el máximo de actividad cuando se aplicó el ASA. En los frutos almacenados a 10 °C no se observó una clara tendencia, ya que el máximo de actividad se obtuvo a los cuatro días cuando se aplicó ASA en 3 mM y en los frutos testigo, en tanto que en los frutos donde se aplicó 1.5 mM de ASA el máximo se obtuvo al día ocho de evaluación (Figura 8 B). No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos. En los frutos almacenados a 18 °C y sin aplicación de ASA se observó un máximo a los cuatro días de evaluación de 13.2 UAE g<sup>-1</sup> de peso seco, que no fue significativamente diferente del resto de los frutos donde se aplicó ASA en 1.5 y 3 mM (Figura 8 C).

La actividad de PPO se incrementa durante la maduración de saramuyo (Vyas et al., 2015). Bolívar-Fernández et al. (2009) sugieren una relación entre la actividad de PPO y el inicio de la senescencia del fruto. La aplicación de AS en 2mM + 1 % de cloruro de calcio retrasan el proceso de maduración (Vyas et al., 2015). En el presente trabajo solo se observó efecto en el retraso de la actividad de PFO en los frutos.

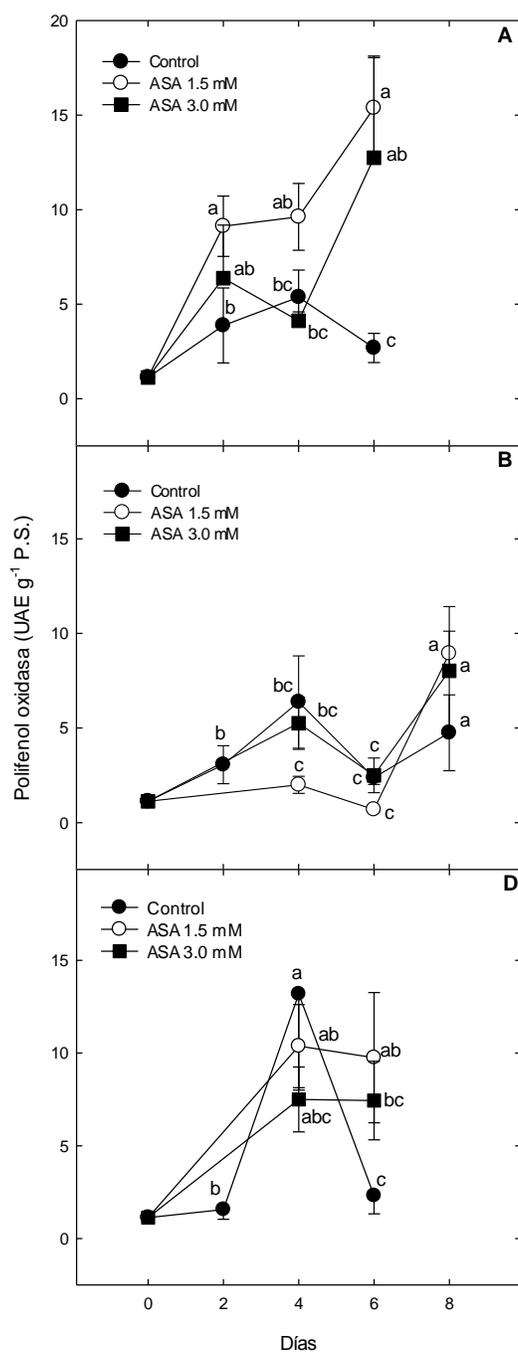


Figura 8. La actividad enzimática polifenol oxidasa (UAE g<sup>-1</sup> P.S.) en pulpa de frutos de saramuyo sometidos a diferentes tratamientos de temperaturas y concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA), durante 8 días: a) 26 ± 2 °C, b) 10 °C, c) 18 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

## **Peroxidasa (POD)**

La actividad de la POD en los frutos sin aplicación de ASA y almacenados a 26 °C mostraron un máximo de actividad a los cuatro días de evaluación, similar tendencia mostró los frutos almacenados donde se aplicó 3 mM de ASA, con la diferencia que el máximo de actividad se determinó al sexto día de evaluación (Figura 9 A). En los frutos donde la aplicación fue de 1.5 mM la actividad fue significativamente mayor alcanzado la máxima actividad a los seis días de evaluación (Figura 9 A). Similar tendencia se observó en los frutos almacenados a 10 °C y 18 °C (Figura 9 B y C), donde los frutos sin aplicación de ASA y con 3 mM de ASA tuvieron baja actividad, comparada con los frutos donde se aplicó 1.5 mM quienes tuvieron significativamente mayor actividad de POD (Figura 9 B y C).

Mo et al. (2008) al aplicar dosis entre 0 y 1.2 mmol L<sup>-1</sup> de AS observó un incremento en la actividad de POD, alcanzado la máxima actividad a los cuatro días de evaluación y con significativamente mayor actividad al incrementar la dosis de SA. Esta tendencia se observó en la dosis de aplicación de 1.5 mM de ASA. Este incremento se atribuye al efecto protector de POD contra radicales libres, retrasando el proceso de senescencia.

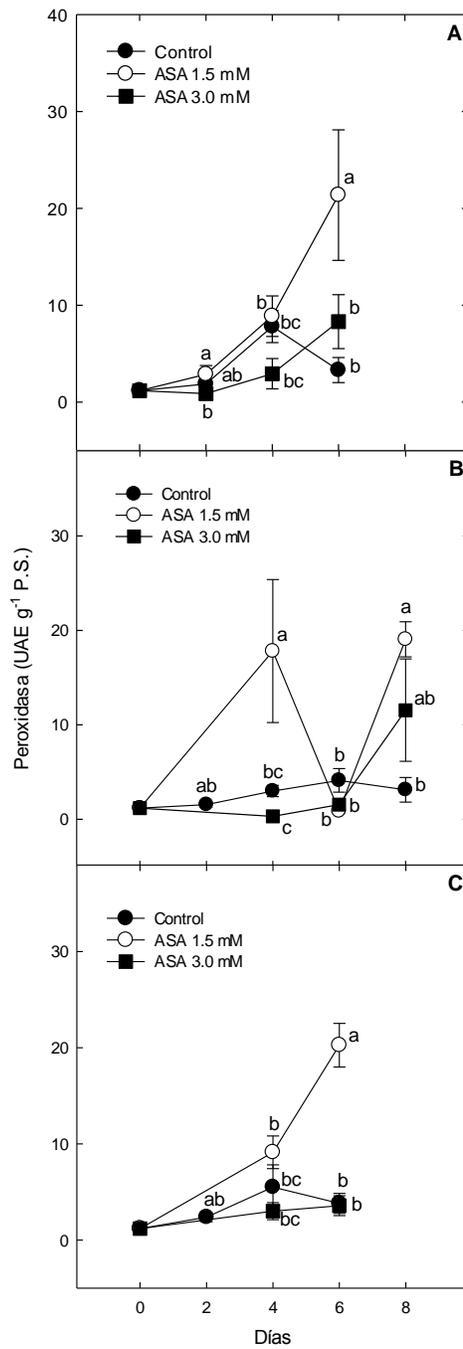


Figura 9. La actividad enzimática peroxidasa (UAE g<sup>-1</sup> P.S.) en pulpa de frutos de saramuyo sometidos a diferentes tratamientos de temperaturas y concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA), durante 8 días: a) 26 ± 2 °C, b) 10 °C, c) 18 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

## **Catalasa (CAT)**

La actividad de la enzima catalasa en frutos almacenados a 26° C no mostró diferencias significativas entre tratamientos (Figura 10 A). En los frutos almacenados a 10 °C se determinó la máxima actividad de la enzima CAT a los cuatro días de evaluación en los frutos sin aplicación de ASA y con 1.5 mM de ASA, en tanto que los frutos donde se aplicó 3 mM de ASA la actividad se incremento gradualmente y mostro la mayor actividad después de ocho días, aunque significativamente menor intensidad comparado con el resto de los tratamientos (Figura 10 B). En los frutos almacenados a 18 °C la actividad de CAT se incrementó constantemente en los tratamientos evaluados sin detectarse diferencias significativas entre tratamientos (Figura 10 C).

La actividad de CAT se reporta que disminuye en los frutos de saramuyo (Mo et al., 2008), pero con menor intensidad cuando se aplica SA en dosis de 0.4 y 1.2 mmol L<sup>-1</sup>. No se observó un efecto benéfico de la aplicación de ASA en la actividad de CAT en el presente trabajo.

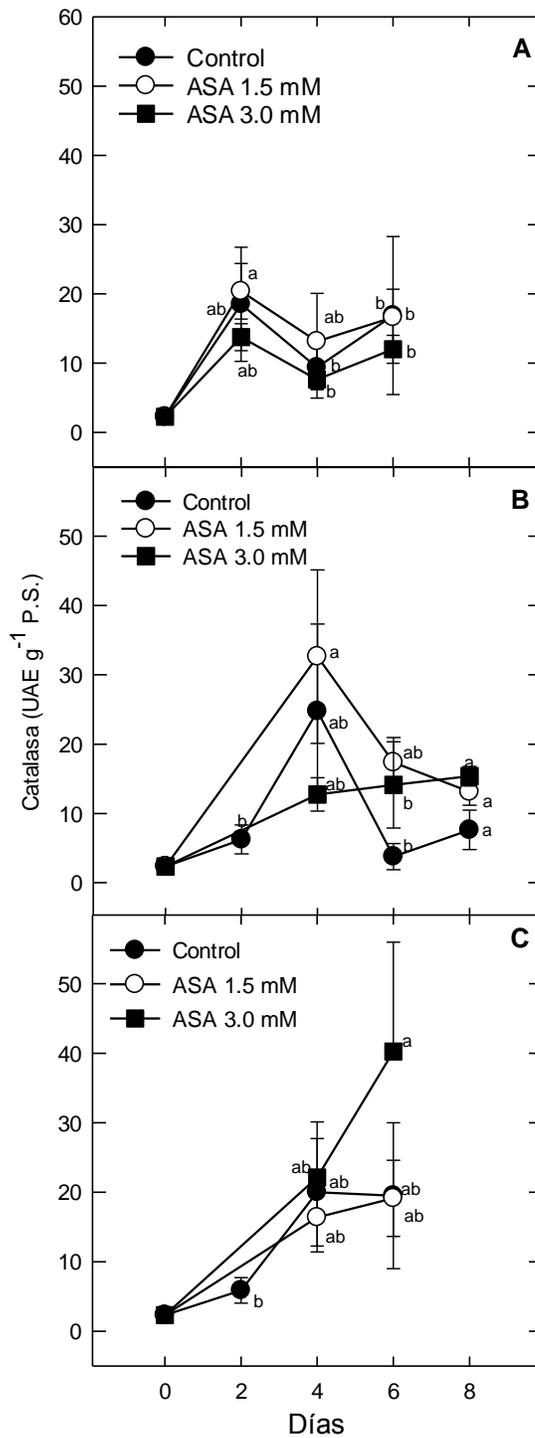


Figura 10. La actividad enzimática peroxidasa (UAE g<sup>-1</sup> P.S.) en pulpa de frutos de saramuyo sometidos a diferentes tratamientos de temperaturas y concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA), durante 8 días: a) 26 ± 2 °C, b) 10 °C, c) 18 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

## **Compuestos fenólicos totales**

En las tres temperaturas de evaluación se observa que los frutos testigo incrementaron significativamente la concentración de fenoles totales y que la aplicación e ASA en dosis de 1.5 y 3 mM disminuyeron drásticamente la biosíntesis de estos compuestos (Figura 11). Vyas et al (2015) reportaron que la concentración de fenoles totales se incrementa durante la maduración y que la aplicación de SA incremento más la concentración de fenoles totales. Lo anterior es contrario a lo observado en el presente trabajo, donde la aplicación de ASA inhibió la acumulación de los fenoles totales Este aspecto es importante ya que favorece una menor oxidación de la pulpa.

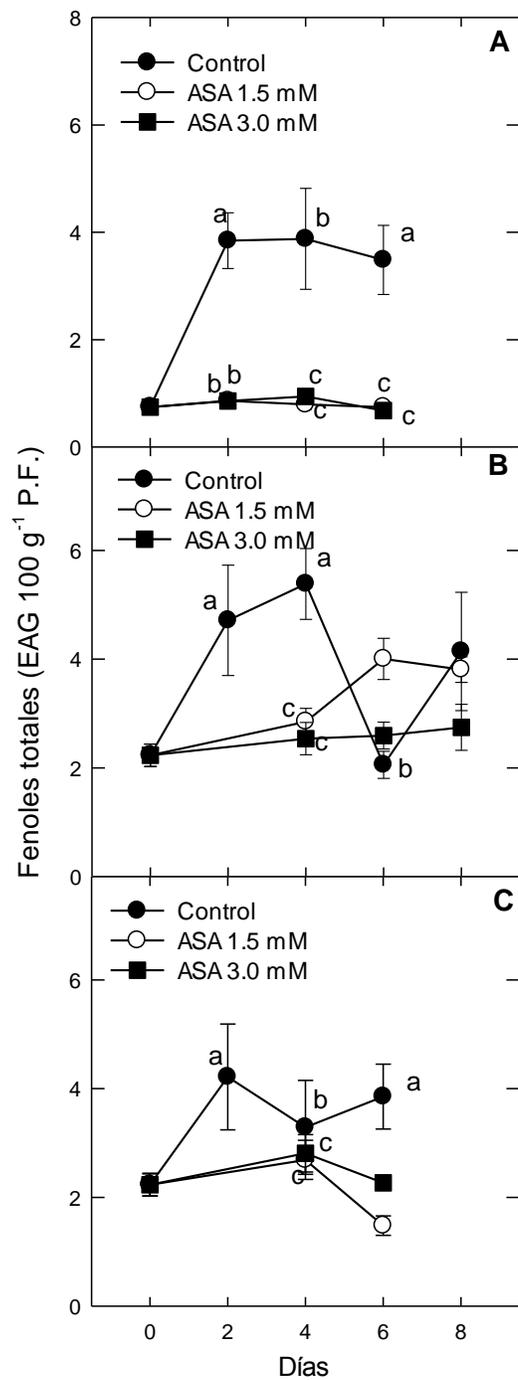


Figura 11. Compuestos fenólicos totales (UAE g<sup>-1</sup> P.S.) en pulpa de frutos de saramuyo sometidos a diferentes tratamientos de temperaturas y concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA), durante 8 días: a) 26 ± 2 °C, b) 10 °C, c) 18 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

## **Flavonoides totales**

En los frutos almacenados a 26 °C, se determinó que la aplicación de ASA en dosis de 3 mM favoreció una mayor acumulación de flavonoides totales (Figura 12 A). En la temperatura de 10 °C, la aplicación de 1.5 y 3 mM tuvieron significativamente mayor concentración de flavonoides totales que los frutos donde no se aplicó ASA (Figura 12 B). En los frutos a 18 °C cuando se aplicó 1.5 mM se tuvo la menor concentración de flavonoides, en tanto que los frutos donde no se aplicó ASA y una dosis de 3 mM el incremento fue constante y alcanzó un máximo a los seis días de evaluación (Figura 12 c).

Los resultados sugieren que la aplicación de ASA favoreció una mayor acumulación de flavonoides en los frutos de saramuyo, esto es positivo ya que los flavonoides se han asociado con un efecto benéfico para los consumidores.

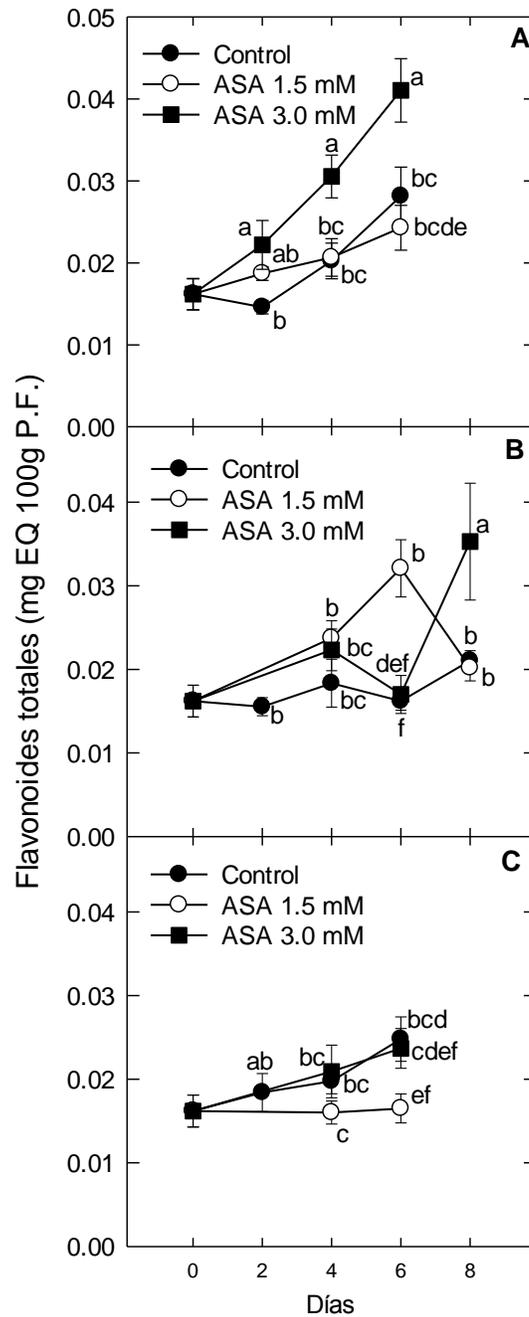


Figura 12. Flavonoides totales (mg EQ 100g P.F.) en pulpa de frutos de saramuyo sometidos a diferentes tratamientos de temperaturas y concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA), durante 8 días: a) 26 ± 2 °C, b) 10 °C, c) 18 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

## **Cambios fisiológicos**

### **Respiración**

En las tres diferentes temperaturas evaluadas la velocidad de respiración de los frutos donde no se aplicó ASA, se observó un incremento significativo, similar a los frutos climatéricos y lo cual se ha reportado anteriormente (Mosca, 2003). En los frutos almacenados a 26 °C el incremento fue gradual, alcanzando el máximo a los ocho días de evaluación (Figura 13 A). Los frutos almacenados a 10 °C la velocidad de respiración alcanzó su máxima intensidad desde el segundo día de evaluación, manteniéndose en dichos valores durante ocho días (Figura 13 B). Finalmente, en los frutos almacenados a 18 °C se observó que el incremento de la velocidad de respiración fue gradual alcanzándose su máximo después de seis días (Figura 13 C). Prasanna et al. (2000) reportan que el almacenamiento a 15 y 10 °C retrasan el máximo climatérico comparado con los frutos almacenados a 20 y 25 °C, lo cual es diferente en el presente trabajo.

La aplicación de ASA en dosis de 1.5 y 3 mM disminuyó significativamente la velocidad de respiración, en tal grado que no se observa el máximo climaterio, sin importar la temperatura de almacenamiento (Figura 13). Mo et al. (2008) reporta que la aplicación de AS en dosis de 0.4 a 1.2 mmol L<sup>-1</sup> reduce la velocidad de respiración en forma significativa y sugiere que retrasa la maduración de los frutos de saramuyo. Lo anterior es similar en el presente trabajo.

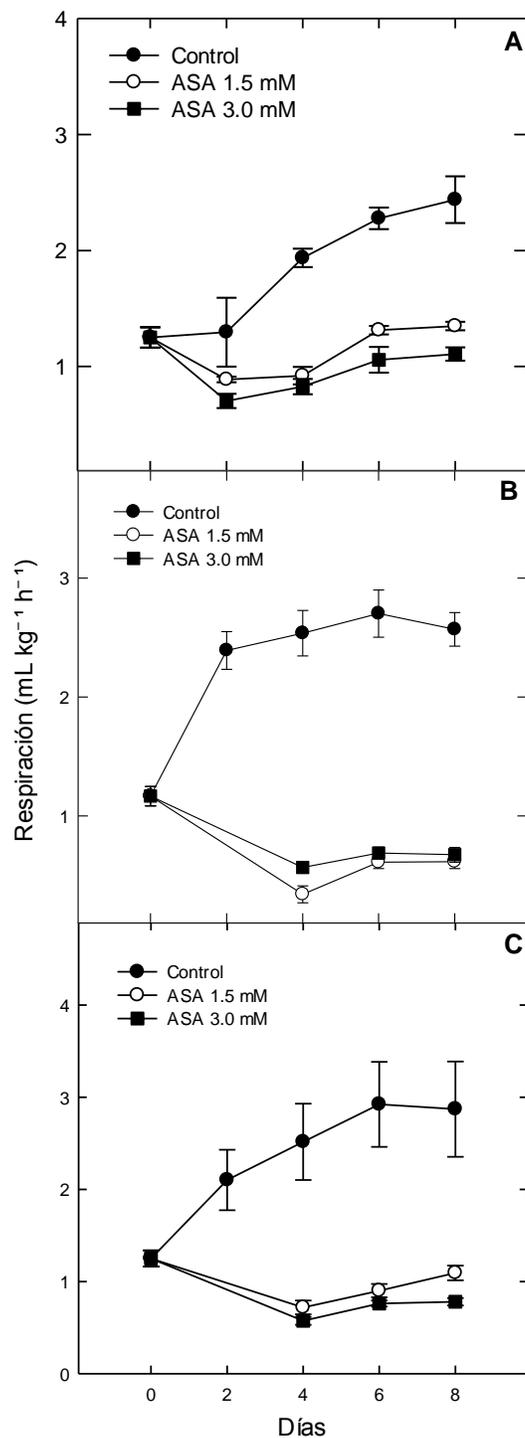


Figura 13. Velocidad de respiración (mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) de frutos de saramuyo sometidos a diferentes tratamientos de temperaturas y concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA), durante 8 días: a) 26 ± 2 °C, b) 10 °C, c) 18 °C. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

## **Etileno.**

La producción de etileno se incrementó en los frutos almacenados a 26 y 18 °C sin importar la dosis de aplicación de ASA, sin detectarse diferencias significativas entre tratamientos (Figura 14 A y C). En los frutos almacenados a 10 °C se observó que la aplicación de ASA en dosis de 1.5 y 3 mM disminuyeron significativamente la producción de etileno (Figura 14 B). Mo et al. (2008) reporta que la aplicación de AS en dosis de 0.4 a 1.2 mmol L<sup>-1</sup> reduce la producción de etileno en forma significativa y sugiere que retrasa la maduración de los frutos de saramuyo. Lo anterior es similar en el presente trabajo.

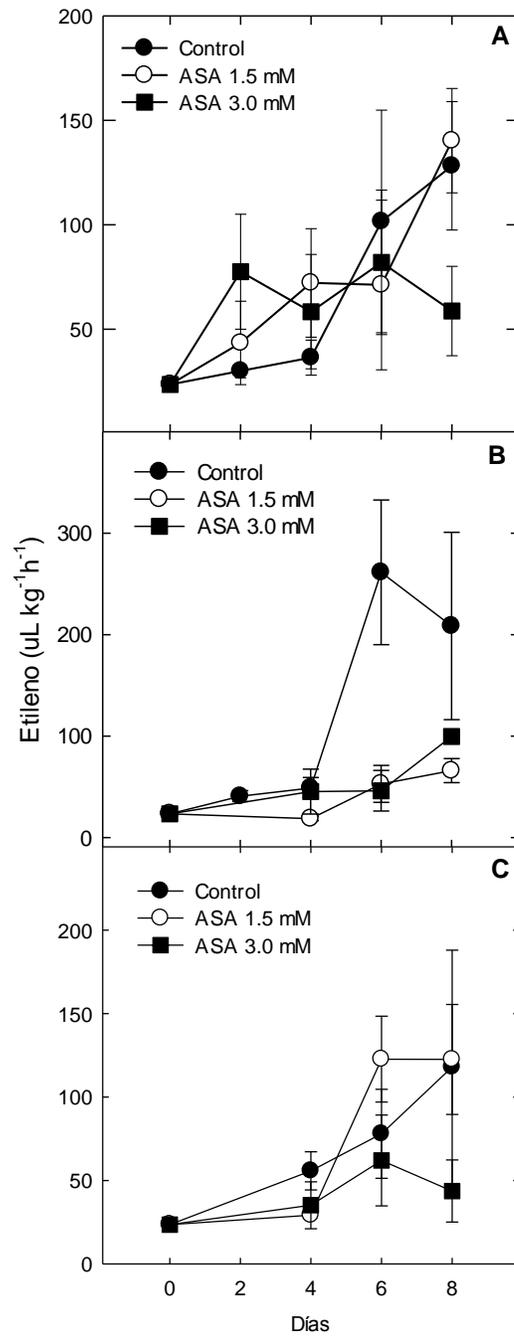


Figura 14. Producción de etileno ( $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) de frutos de saramuyo sometidos a diferentes tratamientos de temperaturas y concentraciones de ácido acetilsalicílico (ASA), durante 8 días: a)  $26 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , b)  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , c)  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

## **CONCLUSIONES**

El uso de tecnologías postcosecha como aplicaciones de ASA como retardantes de maduración afectaron directamente sobre en la mayoría de los procesos fisicoquímicos de las variables evaluadas, así como también el almacenamiento a bajas temperaturas después de la cosecha. Por lo cual se puede decir que es posible extender la vida postcosecha en frutos de saramuyo con los tratamientos mencionados comparados con el control, los resultados sugieren que es posible continuar estudiando retardantes de maduración en especies de anonáceas.

## LITERATURA CITADA

Andrés, A. J. & Andrés, H. L. (2011). Biología, diversidad, conservación y uso sostenible de los recursos genéticos de Annonaceae en México. Universidad Autónoma Chapingo, México.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. Official methods of analysis. (16<sup>a</sup> ed). Virginia, USA.

Barman, K., S. Sharma, R. Asrey. (2019). Postharvest treatments to alleviate chilling injury in fruits and vegetables. In: emerging postharvest treatment of fruits and vegetables. Apple Academic Press CRC Press Taylor & Francis. 1-36.

Baskaran, R., Pullencheri, D., y Somasundaram, R. (2016). Characterization of free, esterified, and bound phenolics in custard apple (*Annona squamosa* L) fruit pulp by UPLC-ESI-MS/MS. *Food Research International*, 82, 121–127.

Bolívar-Fernández, N., Sucedo-Veloz, C. Solís-Pereira, S. & Sauri-Duch, E. (2009). Maduración de frutos de saramuyo (*Annona squamosa* L.) desarrollados en Yucatán, México. *Agrociencia* 43: 133-141.

Bradford, M. (1976). A Rapid and Sensitive Method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal.Biochem.* 72: 248-254.

Broughton, W.J. & Guat, T. (1979). Storage conditions and ripening of the custard apple *Annona squamosa* L. *Scientia Horticulturae* 10: 73-82.

Castillo, M. L.E. (2011). Introducción al SAS® para windows. Tercera edición. Universidad Autónoma Chapingo. 295 p.

Chande, O., O., Fabian, C., Lugwis, E. (2014). Post-Harvest Physicochemical Properties of Soursop (*Annona Muricata* L.) Fruits of Coast Region, Tanzania, *Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2(5), 220-226.

Chaves, I. R., De Souza Ferreira, E., Da Silva, M. A., y Neves, V. A. (2011). Polyphenoloxidase From Atemoya Fruit (*Annona Cherimola* Mill. × *Annona squamosa* L.). *Journal of Food Biochemistry*. 35(6), 1583–1592.

Hernández, L., Moctezuma, H., Vidal, A., y Ruiz, B, R., Rocha, D., y Chiquito C., R. (2014). La Situación de las Annonaceae en México: principales plagas, enfermedades y su control. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 36, 44-54.

Júnior, A. M.C. & Andrade, J.S. (2012) Physicochemical changes in cubiu fruits (*Solanum sessiliflorum* Dunal) at different ripening stages. *Cienc. Technol. Aliment.* 32(2): 250-254.

Jagtap, U. B., Bapat, V. A. (2012). Antioxidant activities of various solvent extracts of custard Apple (*Annona squamosa* L.) fruit pulp. *Nutrafoods*, 11(4),137-144.

Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., y Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciencia y tecnología de alimentos*, 25(4), 726-732.

León-Fernández, A. E., & Montalvo-González, E. (2017). Sugar Apple (*Annona squamosa*). *Fruit and Vegetable Phytochemicals*. 1253–1258.

Lim, T. K. (2012). Edible medicinal and non-medicinal plants. 656-687.

Liu, K., Li, H., Yuan, C., Huang, Y., Chen, Y. & Liu, J. (2015). Identification of phenological growth stages of sugar apple (*Annona squamosa* L.) using the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae* 181: 76-80.

Liu, K.D., Yuan, C.C., Jing, G.X., Li, H.L., & Liu, J.K. (2015). Effect of exogenous oxalic acid treatment on ripening and preservation of *Annona squamosa* L. fruits during postharvest storage. *Food Sci.* 14: 329-334.

Mosca, J.L., Silva, E. O., Mendica, P.S., Almeida, A. S, Alves, R. E. & Miranda, M.R. (2003). Desenvolvimento de tecnologia para conservacao pós-colheita de ata (*Annona squamosa*). *Proc. Interaer. Soc. Trop. Hort.* 47: 114.-118.

Mo, Y., Gong, D., Linag, G., Han, R. Xie, J. & Li W. (2008). Enhanced preservation effects of sugar apple fruits by salicylic acid treatment during postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88: 2693-2699.

Morton, J.F. (2013). *Fruits of Warm Climate*. Echo Point, USA.

Murtala, M.M., Abu B. M. F., Mohamed, M., Linatoc, C.A. & Sabrán, F. (2018). Sugar apple – *Annona squamosa* Linn. *In: Exotic Fruits. Reference Guide*, Rodrigues, S., Silva, E.O & Brito, E. S. (eds.), pp: 397-402. Elsevier, London, UK.

Neguerula, Á.I. (2012). Is the color measured in food the color that we see?. *Color in Food: Technological and Psychophysical Aspect*. Caivano, J.L., M. del P. Buera. CRC Press. 81-91.

Pal, D.K. & Kumar, S. P. (1995). Changes in the physico-chemical and biochemical compositions of custard apple (*Annona squamosa* L.) fruits during growth, development and ripening. *Journal of Horticultural Science* 70(4): 569-572.

Paliyath, G., Padmanabhan, P. (2019). Preharvest and postharvest technologies based on hexanal: An overview. *Postharvest biology and technology*. Paliyath, G., J. Subramanian, L-T Lim, K.S. Subramanian, A. H. Handa, A. K. Matto (eds.). Wiley Blackwell. Ponchiderry, India. 89-101.

Prasanna, V. K.N., Rao, S. D.V. & Krishnamurty, S. (2000) Effect of storage temperature on ripening and quality of custard apple (*Annona squamosa* L.) fruits. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 75(%): 546-550.

Salveit, R. M. (2016). Respiratory metabolism. *Postharvest ripening physiology of crops*. Pareek, S. (ed.). CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.139-156.

Serrano, M., P. J. Zapata, D. Martínez-Romero, H. M. Díaz-Mula, D. Valero. (2016). Polyamines as an ecofriendly postharvest tool to maintain fruit quality. *Eco-friendly technology for postharvest produce quality*. Wasim, S. (Ed.). Elsevier - Academic Press. 219-241.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Anuario estadístico de la producción agrícola. En línea: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.

Soleimani, A. M., M. Asghari, M. Babalar, M. A. A. Sarcheshmeh. (2016). Impact of salicylic acid on postharvest physiology of fruits and vegetables. *Eco-friendly technology for postharvest produce quality*. Wasim, S. (Ed.). Elsevier - Academic Press. 2043-268.

Soleimani, A. M., M. Babalar, M. A. A. Sarcheshmeh. 2016. Impact of brassinoesteroids on postharvest physiology of fruits and vegetables. *Eco-friendly technology for postharvest produce quality*. Wasim, S. (Ed.). Elsevier - Academic Press. 203-218.

Tucker, G.A. Introduction. In Biochemistry of Fruits Ripening. Seymour, G.B., Taylor, J.E. & Tucker, G.A. (eds.) pp: Chapman & Hall, UK. Pp: 1-51.

Vyas, B.P., Rao, R. T.V. & Thakkar, V.R. (2015). Combined effects of chemical and physical elicitors on postharvest quality of custard apple (*Annona squamosa* L., cv. Balanagar). *Scientia Horticulturae* 187: 50-57.

Wasim, S. M. 2016. *Eco-friendly technology for postharvest produce quality*. Elsevier - Academic Press. Amsterdam, Holanda. 304.

Wongs-Aree, C. (2011). Sugar apple (*Annona squamosa* L.) and atemoya (*A. cherimola* Mill. x *A. squamosa* L.) In: pp: 399-426. Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits, V. 4., Mangsteen to White sapote, Yahia, E. M. (ed.). Woodhead Publishing, Oxford, UK.

Yahia, E. M. (2019). Classification of Horticultural Commodities. In: Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities, Yahia, E. M. (ed.), pp: 71-97. Woodhead Publishing. Cambridge, MA, USA.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS

Cuernavaca, Morelos, 07 de junio de 2021.

**Asunto:** Voto Aprobación de Tesis.

**MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ**  
**DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGROPECUARIAS.**  
**P R E S E N T E.**

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“DESCRIPCIÓN DE VARIANTES Y RETARDADORES DE LA MADURACIÓN EN FRUTOS DE SARAMUYO (*Annona squamosa* L.)”** que presenta el: **I.H. EDGAR ORLANDO GÓMEZ BERRUECOS**, mismo que fue desarrollado bajo mi dirección y la Codirección de la **DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestro en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*

**DR. IRÁN ALIA TEJACAL**  
**Comité Evaluador**

C.i.p. Archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

#### Sello electrónico

IRAN ALIA TEJACAL | Fecha:2021-06-07 12:06:04 | Firmante

WFCHwY+if2tbyfJi7S7Pcv63q0t43i6i9EYILti5E+NS5ofLMH5wdV51bjY0v5Ffrbxuw2YKXOexP6YIMOtrtdzAHTo6q9Y9vH4Uif4c/6pNiO7OeytaveW1pyol7ea8z2pla6GxndsghP0C1iVQln5/wMJo2v9OtP5AQVJEqaSVYKuj4Bq8BoLsTxKZDEJ5oSBeupw/hwByEiUqKwuLIMUEXleNTJjUyOs4PzU+aCFhDx6u5JtlcSWbVetaAwGGXz3Wmt58N2g4i7SZeY2Ew6TTumkEPgjsR1VYuhgyUTemVPTsjEKfsNLLq633SDTjxN3H7R7E1ShcsszR0hOQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



RkAOP8

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/1HlgTWhnPfIEuYh7VrEkokxZYqbqjHRZ>



Una universidad de excelencia

RECTORÍA  
2017-2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS

Cuernavaca, Morelos, 07 de junio de 2021.

**Asunto:** Voto Aprobación de Tesis.

**MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ**  
**DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGROPECUARIAS.**  
**P R E S E N T E.**

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: “**DESCRIPCIÓN DE VARIANTES Y RETARDADORES DE LA MADURACIÓN EN FRUTOS DE SARAMUYO (*Annona squamosa* L.)**” que presenta el: **I.H. EDGAR ORLANDO GÓMEZ BERRUECOS**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la Codirección de la **DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestro en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*

**DR. VICTOR LOPEZ MARTINEZ**  
**Comité Evaluador**

C.i.p. Archivo

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

#### Sello electrónico

VICTOR LOPEZ MARTINEZ | Fecha:2021-06-07 12:16:28 | Firmante

bwdOT1cFAPHtHUSAMqLwZuAHCbP9QB88iGo5dypEHYelunFA/0B8Gnq3aYIC7OzFo0ZRCLHQySo45stD1EsXvZ6ND3mGC+HjuLAedii65wfyETGiPxF9V2urdGzE4yQL1pxuF5rPHRCaFJg95i12UnArsAwH/ZT5AAjIjByspMJLe8ozwTQE4QJDWdrzLvQkG3OpoYM/X+y/Zj2RuX7hFNMkqkgfkEuBNqMc4LI/8QZrFH6izTp0z5AOQJMUDZDCWZCFCQLEN8dj5DDrreXYM+4QIJ+hEfdOS3iLY0zc2Th97tHy2SuvTJxQsZVAbQUUnVN71stfQ7982upgrGD4Q==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



5gfR87

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/OCKpnV80K7ig5P7dMDKe5bqEnkWmp2V5>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS

Cuernavaca, Morelos, 07 de junio de 2021.

**Asunto:** Voto Aprobación de Tesis.

**MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ**  
**DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGROPECUARIAS.**  
**P R E S E N T E.**

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: “**DESCRIPCIÓN DE VARIANTES Y RETARDADORES DE LA MADURACIÓN EN FRUTOS DE SARAMUYO (*Annona squamosa* L.)**” que presenta el: **I.H. EDGAR ORLANDO GÓMEZ BERRUECOS**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la Codirección de la **DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestro en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*

**DR. DAGOBERTO GUILLEN SÁNCHEZ**  
**Comité Evaluador**

C.i.p. Archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

#### Sello electrónico

DAGOBERTO GUILLEN SANCHEZ | Fecha:2021-06-07 14:03:21 | Firmante

DUHUQAmDZv8rHABi8eXDZGS8BuPw4AuZLUUi5ocMYTqZ3Bij+7H121oRkswAZQxGOIWli8KwuqNkealfdzY3wRRmQyv77LeCIH6c1niHtb2NjZIE5gTpZNnqxw33+F8jjGRL5a  
wT8KTvnnvzQKftmkyAsM8+AzobZvy5oqnVT6p8ORmS8ul1zR0Mg+iWC+EcyWuN8pBHVS0JzzECNwfvALNhLURGoMM8EUisvE0Mlr98h48DNX04FvXSSL5BCOITkVkoKnMK  
+Lb1p2sViCCTIM/UNQ2mu1blbXV1kiD6acFs+XzmdMdmHWkQLTmAKHkixEDTUXfy76kilk6AUw1KQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



00Az8X

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/bmaPolInEkruFGPMEa3svfuBDLGIWVJr>

UA  
EM

Una universidad de excelencia

RECTORÍA  
2017-2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
JEFATURA DE PROGRAMAS EDUCATIVOS DE POSGRADO

Cuernavaca, Morelos, 07 de junio de 2021.

**Asunto:** Voto Aprobación de Tesis.

**MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ**  
**DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGROPECUARIAS.**  
**P R E S E N T E.**

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“DESCRIPCIÓN DE VARIANTES Y RETARDADORES DE LA MADURACIÓN EN FRUTOS DE SARAMUYO (*Annona squamosa* L.)”** que presenta el: **I.H. EDGAR ORLANDO GÓMEZ BERRUECOS**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la Codirección de la **DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestro en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*

**M.C. DANIEL EDUVIGES CITUK CHAN**  
**Comité Evaluador**

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209  
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

#### Sello electrónico

DANIEL EDUVIGES CITUK CHAN | Fecha:2021-06-08 16:32:14 | Firmante

0Xek4b+hEuT2EkkXfT10Tm2Lxt9qhu6BcoXV+CNM87YhRb7Zba2WOONRSHQKksXBWROOusFEjv/LKDK2JVqqP95V84BTpRn01DQQXtigGT6q/cGopINCgpMGituMoytq6M3B  
JDIZnyHQ5VN18lxOVgZ1hglVDuZMNbn194Wa98Z5SiWm+hUDhXNU+W977jr64vbyWNt8BMeSdxRyLEXhVC6lzkOdUJ4nxi1AxLXtM1OX7JYQvJ5wqAGBcBS87ejKkT81S5  
MRsSU/avxEYAvv/h7JbchuSeqkfH5uFZvrt14F8N/3VCh/LDjOn5YVB7jLJTpzojcX/GKKjxzTQOQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[HJhTzi](#)

<https://efirma.uaem.mx/NoRepudio/gj9dsTaL80yJ6N4sW2Zsj6X8MntdWPgG>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS

Cuernavaca, Morelos, 07 de junio de 2021.

**Asunto:** Voto Aprobación de Tesis.

**MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ**  
**DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGROPECUARIAS.**  
**P R E S E N T E.**

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: “**DESCRIPCIÓN DE VARIANTES Y RETARDADORES DE LA MADURACIÓN EN FRUTOS DE SARAMUYO (*Annona squamosa* L.)**” que presenta el: **I.H. EDGAR ORLANDO GÓMEZ BERRUECOS**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la Codirección de la **DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestro en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente  
*Por una humanidad culta*  
*Una universidad de excelencia*

**DR. EDUARDO CAMPOS ROJAS**  
**Comité Evaluador**

C.i.p. Archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

#### Sello electrónico

EDUARDO CAMPOS ROJAS | Fecha:2021-06-08 11:01:50 | Firmante

QopofzVHJGwfDTkVz6aPpuQs1vuBBiqf+NUxiYklQQmmMmYe1IYLUAIBYq+TV3nQWRmbzTnYGgwRXr43wBKKZIMIKoNS8Lrig3P4576hlsTGetn1WOFhcowK6GrVfHIJ9OZeM3kT5VixtLpnxR6zhmsUkPyl78OVVrweFrys8HrBaKo9TEv2mDbJtGY13t3EyU7ezz0nMrsr3UXOwZAawqOMAEUOFXSXNUeJzncuQXGGoz5yNucdIOumJ7Z00vYHwa5aisnLBhS65UBuejk3exxZ4FPzRI1z2+pmxMuPWYqHW3B7SoSCbyCCEarPuLsijnAAVN/b098yPx0sj/LQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



3Bh0eA

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/0XE8cPW9nWDwsoChRgMcTZdEUkjBDLUN>

UA  
EM

Una universidad de excelencia

RECTORÍA  
2017-2023