

# Propiedades fisicoquímicas y actividad antioxidante en frutos de jaboticaba (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel) en diferentes etapas de maduración

Quality parameters, functional metabolites and antioxidant activity of jaboticaba fruits (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel, Mirtaceae) harvested in three ripe stages

Melina Aparicio-Huerta<sup>1</sup>, Irán Alia-Tejagal<sup>1\*</sup>, Gloria Alicia Pérez-Arias<sup>1</sup>, Dagoberto Guillén-Sánchez<sup>1</sup>, Porfirio Juárez-López<sup>1</sup>, Alyn Mariana Palacios-Sosa<sup>1</sup>

## RESUMEN

Se cosecharon frutos de jaboticaba (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel, Mirtaceae) en tres etapas de maduración: verde, medio verde y maduros, provenientes de una huerta comercial en Yautepec, Morelos, México. En cada etapa de maduración se evaluaron parámetros fisicoquímicos de calidad, metabolitos funcionales y actividad antioxidante por tres métodos. La masa de los frutos varió entre 6.8 y 12.2 g, sin detectarse diferencias significativas entre etapas de maduración. Los frutos maduros mostraron color rojo opaco ( $h=29.0$ ,  $L^*=29.6$  y  $C^*=8.6$ ), mientras que los frutos verdes tuvieron un color verde con opacidad intermedia ( $h=103.1$ ,  $C^*=30.5$ ,  $L^*=48.3$ ). El contenido de sólidos solubles fue significativamente mayor en la fase madura (12.2 °Brix) en tanto que la acidez titulable mostró los valores menores (0.8%); el índice de sabor fue mayor en la fase madura (22.5). El contenido de fenoles totales y actividad antioxidante por el método de DPPH y FRAP fue mayor en las fases verde y madura; se determinó cierta asociación entre dichas variables ( $r=0.45^*$ ). Los resultados indican buena calidad de los frutos de jaboticaba cultivados en Morelos, en comparación con lo reportado en la literatura; además, éstos presentaron cantidades mayores de compuestos fenólicos y asociación con la capacidad antioxidante, por lo que pueden ser una fuente de metabolitos funcionales en la dieta de quien los consuma en la región.

## PALABRAS CLAVE

jaboticaba, calidad, fenoles totales, DPPH, ABTS, FRAP

## ABSTRACT

Fruits of jaboticaba (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel, Mirtaceae) were harvested in three ripe stage: green, turning and ripe, from a commercial orchard from Yautepec, Morelos, Mexico. Quality parameters, functional metabolites and antioxidant activity were evaluated. Fruit mass variation was between 6.8 and 12.2 g, but not significant differences among ripe stage were detected. Ripe fruits were red gray ( $h=29.0$ ,  $L^*=29.6$ ,  $C^*=8.6$ ), while green fruits were of Green color with green opacity intermediate ( $h=103.1$ ,  $C^*=30.5$ ,  $L^*=48.3$ ). Soluble solids totals were significantly highest in the ripe stage (12.2 °Brix) and the titratable acidity showed lower values (0.8 %), the taste index was highest in ripe stage (22.5). Total phenols content and antioxidant activity by DPPH and FRAP methods was higher in green and ripe stage, with association between this variables ( $r=0.45^*$ ). Results indicate good quality of fruits of jaboticaba cultivated in Morelos, Mexico, comparing with reports from literature, also show highest quantities of phenolics and association with the antioxidant activity; this suggest that this fruit can be an important source of functional metabolites in the diet of regional consumers.

## KEYWORDS

jaboticaba, quality, total phenols, DPPH, ABTS, FRAP

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

\* Autor para correspondencia. Av. Universidad 1001, col. Chamilpa. 62209 Cuernavaca, Morelos, México.  
Correo electrónico: iran.alia@uaem.mx

## INTRODUCCIÓN

El árbol de jaboticaba (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel, Mirtaceae) es originario de la región de Río de Janeiro y Minas Gerais en Brasil, y se distribuye en la región de Santa Cruz, Bolivia; Asunción, Paraguay, y el Noreste de Argentina (Morton, 2013). El árbol mide entre 3 y 6 m de alto; el tallo es liso, color gris; las hojas son largas entre 2 y 6 cm, con venas finamente reticuladas. Las flores se desarrollan directamente en el tronco y ramas del árbol y los frutos se desarrollan rápidamente, entre 40 y 60 d. Sus frutos tienen entre 2.0 y 3.5 cm de diámetro, son redondos, con la epidermis desde roja hasta púrpura y negra; la pulpa es blanca, con 1 a 4 semillas. La fruta de jaboticaba puede ser consumida en fresco o en jaleas (Balerdi *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2013). La pulpa fermentada produce licores, vino y vinagres. La cáscara es astringente, útil contra la diarrea e irritaciones de la piel, combate la inflamación intestinal y es antiasmática (Boari *et al.*, 2008).

El fruto proporciona una amplia variedad de carbohidratos, sales, aminoácidos y vitaminas. Es también buena fuente de minerales como calcio, hierro, potasio y fósforo desde 13.2 y 34.6 mg por 100g<sup>-1</sup> de peso fresco (pf). Presenta cantidades significativas de ciertos aminoácidos como triptófano y lisina, vitaminas B1 y B2, y contiene ácido ascórbico en niveles aceptables (238 mg en 100g<sup>-1</sup> de pf). El contenido de antocianinas totales es de 58 a 315 mg 100g<sup>-1</sup> de pf y de fenoles totales aproximadamente 440 mg 100g<sup>-1</sup> de pf. También aporta carotenoides de 0.32 mg 100g<sup>-1</sup> de pf (Wu *et al.*, 2013).

Actualmente, existe un interés creciente sobre la actividad antioxidante de los fitoquímicos presentes en la dieta, debido a que tienen un papel importante en los sistemas de defensa contra especies reactivas de oxígeno, las cuales son generadas durante el metabolismo energético de las células aeróbicas (Ou *et al.*, 2001). Se conoce que la excesiva concentración de radicales libres puede causar daño biológico a las proteínas, lípidos y ADN en el cuerpo humano, y que el organismo depende de una serie de sistemas antioxidantes para eliminar estos radicales libres del organismo; sin embargo, estos sistemas no son completamente eficientes. Frutos, nueces o vegetales se consideran fuentes excelentes de antioxidantes, y pueden jugar un papel crucial en el estatus antioxidante (Clerici y Carvalho-Silva, 2011).

La fruta de jaboticaba presenta alto contenido de compuestos fenólicos en la epidermis, pulpa y semilla (Roaquim *et al.*, 2013). El contenido alto de fenoles en el fruto indica una actividad antioxidante

alta evaluada por el método de DPPH (Zanatta *et al.*, 2005; Reynerston *et al.*, 2008). El contenido de estas moléculas y la actividad antioxidante varía con las condiciones ambientales de crecimiento de la planta, la variedad, la etapa de maduración del fruto, entre otros factores. Se ha reportado la presencia de antocianinas como la cianidina 3-glucosido (Einbond *et al.*, 2004).

En México no se tienen estadísticas oficiales del cultivo. Sin embargo, Morelos cuenta con 4 ha establecidas de jaboticaba, cuya producción se comercializa hacia Puebla y Ciudad de México. No obstante, no hay información documentada acerca de la calidad y contenido de metabolitos funcionales de esta especie en el país, y no se conoce el comportamiento y contenido de fenoles, flavonoides ni la actividad antioxidante que pueden aportar en diferentes etapas de maduración. Por lo anterior, este aspecto que es estudiado en el presente trabajo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En marzo de 2015 se cosecharon manualmente frutos de jaboticaba, provenientes de árboles de una huerta comercial denominada "Vivero Caramyau", en Yautepec, Morelos, México (18°53'37.3" N, 99°02'35.2" O). Los frutos fueron colocados en cajas de plástico y se transportaron al laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, para su evaluación.

Los frutos se cosecharon en tres etapas de maduración y se seleccionaron subjetivamente de acuerdo al color del epicarpio para formar tres grupos de 100 frutos cada uno. La primera etapa fue: *verde* (cuando 100% del color de la epidermis fue verde); la segunda etapa fue *medio verde* (cuando el 50% del color fue verde en la epidermis del fruto) y, por último, la tercera etapa fue *madura* (cuando el color púrpura oscuro fue total en la epidermis del fruto). Se seleccionaron frutos que no tuvieran daño mecánico; éstos se lavaron con agua destilada para eliminar polvo o algún otro contaminante y se mantuvieron a temperatura ambiente durante el periodo de evaluación.

## ORGANIZACIÓN EXPERIMENTAL

Se tuvieron tres etapas de maduración: verde, medio verde y maduro, las cuales se consideraron como tratamientos. Las variables evaluadas fueron masa, componentes del color (L\*, C\* y h), sólidos

solubles totales, acidez titulable, proporción sólidos solubles totales/acidez titulable, contenido de fenoles y flavonoides totales, en las cuales se tuvo como unidad experimental un fruto y se realizaron 20 repeticiones. La actividad antioxidante fue determinada por los métodos de DPPH, ABTS y FRAP, y para ésta se tuvo como unidad experimental dos frutos y se realizaron 10 repeticiones. Finalmente, la evaluación de respiración y producción de etileno se realizó en una unidad experimental de cinco frutos con seis repeticiones.

### Variables evaluadas

**Masa.** Los frutos se pesaron en una balanza digital (OHAUS®, USA) con una sensibilidad de 0.01 g.

**Componentes del color.** Se determinaron los parámetros de color: luminosidad ( $L^*$ ), Cromaticidad ( $C^*$ ) y matiz (h) en la parte ecuatorial del fruto. Se tomaron tres lecturas con un espectrofotómetro (X-rite® SP64) (McGuire, 1992).

**Velocidad de respiración.** La velocidad de respiración ( $CO_2$ ) fue cuantificada mediante un sistema estático (Salveit, 2016), que consistió en colocar cinco frutos en un frasco de vidrio con capacidad de 145 mL cerrado herméticamente durante tres horas. Posteriormente, se tomó 1 mL de gas del espacio de cabeza a través de la septa del frasco para inyectar a un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 789A GC), con una columna tipo abierta con empaques de capa porosa de sílica conectada simultáneamente a un detector de ionización de flama (FID) y otro de conductividad térmica (TCD). Se utilizó nitrógeno como gas de arrastre.

**Sólidos solubles totales y acidez titulable.** Los sólidos solubles se evaluaron mediante la lectura de refracción en grados °Brix de dos gotas de jugo extraídas de cada fruto con la ayuda de un Súper Extractor (ATAGO®) y se midieron con un refractómetro (ATAGO PAL-1®, Japón). Los resultados se reportaron en °Brix. La acidez titulable se determinó por el método de la AOAC (1995) en pulpa, para lo cual se molió 1 g de pulpa con 12 mL de agua destilada con ayuda de un homogeneizador de tejidos Ultra Turrax (IKA®, USA). El homogenizado se filtró con papel filtro de poro mediano; posteriormente, a 5 mL del homogenizado se agregaron tres gotas de fenolftaleína a 2% y se tituló con NaOH 0.1N. Los resultados se expresaron en porcentaje de ácido cítrico.

**Fenoles totales.** La concentración de fenoles totales se realizó conforme a la metodología de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999). Se homogenizó un gramo de pulpa con 20 mL de agua destilada con ayuda de un Ultra Turrax (IKA®, USA) y, posteriormente, se filtró. Se tomó 0.5 mL del filtrado y se mezcló con 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1:10). Después de 5 min, se adicionaron 2 mL de carbonato de sodio a 7.5% (p/v) y se dejó reposar durante 2 h; posteriormente se realizaron las lecturas en un espectrofotómetro (HACH DR 5000®, USA) a 760 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (EAG)  $100g^{-1}$  de peso fresco.

**Flavonoides totales.** El total de flavonoides se determinó siguiendo la metodología de Arvouet-Grand *et al.* (1994). Se pesó 0.5 g de pulpa y se mezcló con 10 mL de metanol; la mezcla se homogenizó con un Ultra Turrax (IKA®, USA) y posteriormente se filtró. A partir del filtrado, se tomaron 2 mL de muestra y se mezclaron con 2 mL de tricloruro de aluminio a 2% (p/v); la mezcla se dejó reposar por 15 min en la oscuridad y se realizaron lecturas de absorbancia a 415 nm en un espectrofotómetro (HACH DR 5000®, USA). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de quercetina (EQ)  $100g^{-1}$  peso fresco.

**Determinación de la actividad antioxidante por el método DPPH (1,1 difenil-2-picrilhidrazil).** Para la obtención de los extractos, se pesó 1 g de pulpa y se homogenizó con agua destilada (1:10), con lo que se obtuvo el extracto de la muestra para determinar la actividad antioxidante. Se utilizó la metodología propuesta por Brand-Williams *et al.* (1995) con mínimas modificaciones. Este método consistió en colocar, en una celda de cuarzo, 3 mL de solución metanólica de DPPH  $6.1 \times 10^{-5} M$  (Sigma Aldrich, USA) que se hicieron reaccionar con 100  $\mu L$  de extracto; la mezcla se dejó reposar en la oscuridad durante 30 min y se leyó a 517 nm el cambio de absorbancia. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA)  $100 g^{-1}$  y  $\mu M$  equivalente Trolox (TE)  $100 g^{-1}$  peso fresco.

**Determinación de la capacidad antioxidante por ABTS (ácido 1,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolín-6-sulfónico).** Se preparó ABTS (Sigma-Aldrich, USA) a 7 mM y persulfato de potasio ( $K_2S_2O_8$ ) a 2.45 mM; se mezclaron 1:1 y la mezcla se dejó reposar durante 16 h. Se diluyó con etanol 20% hasta alcanzar una absorbancia de  $0.7 \pm 0.02$  a 734 nm. Se agregó 3 mL de ABTS con 50  $\mu L$  de extracto y se dejó reaccionar durante 15 min;

**Cuadro 1. Masa y color de frutos de jaboticaba en tres etapas de maduración.**

ETAPA DE MADURACIÓN	MASA (g)	LUMINOSIDAD (L*)	CROMATICIDAD (C*)	MATIZ (h)
Verde	6.8 <sup>a,z</sup>	48.3 <sup>a</sup>	30.5 <sup>a</sup>	103.1 <sup>a</sup>
Medio verde	6.8 <sup>a</sup>	29.6 <sup>b</sup>	8.6 <sup>b</sup>	36.4 <sup>b</sup>
Maduro	11.2 <sup>a</sup>	25.5 <sup>c</sup>	1.3 <sup>c</sup>	29.0 <sup>b</sup>
DMS	1.2	2.9	3.8	34.2
C.V.	19.1	11.2	36.9	85.1

<sup>z</sup> promedios con letras iguales indican similitud estadística de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

la absorbancia se leyó a 734 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g<sup>-1</sup> peso fresco y  $\mu$ M equivalente Trolox (TE) 100 g<sup>-1</sup> peso fresco (Re *et al.*, 1999).

*Capacidad antioxidante por reducción férrica (FRAP).* Se empleó la metodología desarrollada por Benzie y Strain (1996). Se preparó el reactivo FRAP (TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina 10 mM), FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O (20 mM) y amortiguador acetato de sodio (0.3 mM). Se mezcló 1.8 mL de FRAP con 140  $\mu$ L de agua destilada y 60  $\mu$ L de extracto; se dejaron reaccionar durante 30 min a 37 °C y, transcurrido el tiempo de reacción, se leyó la absorbancia a 593 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g<sup>-1</sup> peso fresco y  $\mu$ M equivalente Trolox (TE) 100g<sup>-1</sup> peso fresco.

Los datos obtenidos fueron sujetos a análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ). Se realizaron correlaciones simples entre las variables evaluadas. Se utilizó el software de SAS<sup>®</sup> v. 9.1 con los procedimientos GLM, MEANS y CORR (Castillo, 2011).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*Masa.* No se determinaron diferencias significativas en la masa de los frutos en dependencia de la etapa de maduración; la masa tuvo un rango entre 6.8 y 12.2 g (cuadro 1). Balerdi *et al.* (2006) indican que los frutos de jaboticaba tienen una masa entre 3 y 15 g, en tanto que Duarte y Paull (2015) reportan masa de los frutos entre 2 y 5 g. Esto sugiere que los frutos evaluados en el presente trabajo están dentro de los parámetros reportados para esta especie.

*Parámetros de color (L\*, C\* y h).* Los frutos en etapa de maduración verde, mostraron valores con tendencia al verde (h=103.1) con poca opacidad (C\*=30.5) aunque brillosos (L\*=48.3) (cuadro 1). En la etapa medio verde, el color de los frutos mostró tendencia al rojo (h=36.4), opacidad (C\*=8.6) y poca luminosidad (L\*=29.6) (cuadro 1). En la etapa madura, los frutos mostraron mayor tendencia al rojo (h=29.0), opacidad (C\*=1.3) y menor luminosidad (L\*=25.5). El análisis de varianza determinó que los parámetros de color fueron significativamente diferentes en cada etapa de maduración evaluada (cuadro 1). La madurez de los frutos de jaboticaba se puede determinar por el color: durante el desarrollo del fruto, el contenido de clorofilas se incrementa hasta 50 días después de la floración, donde alcanza su máxima concentración; posteriormente, hay una disminución que coincide con la síntesis de flavonoides, particularmente antocianinas, la cuales se incrementan durante la maduración y son las responsables del color final del fruto (Almeida *et al.*, 2011).

*Sólidos solubles totales, acidez titulable e índice de sabor.* La mayor concentración de sólidos solubles totales (SST) fue en los frutos maduros (18.4 °Brix); en las etapas verde y medio verde, ésta no superó los 12.2 °Brix (cuadro 2). Boari *et al.* (2008) reportan que dos variedades de jaboticaba –‘Paulista’ y ‘Sabará’– tuvieron contenido de SST entre 14.1 y 14.9 en la etapa de madurez de consumo. Duarte y Paull *et al.* (2015) indican que la jaboticaba ‘Sabará’ tiene un rango de concentración de SST ente 11 y 18 °Brix. La fruta de jaboticaba evaluada en el presente trabajo mostró mayor contenido de SST que otras variedades en otras regiones del mundo.

La acidez titulable disminuyó significativamente de la etapa de maduración verde a la fase de maduración medio verde y madura (cuadro 2). Esto se debe a que los ácidos orgánicos disminuyen durante el desarrollo del fruto (Almeida *et al.*, 2011). Los principales ácidos orgánicos en la pulpa de frutos de jaboticaba 'Sabará' son ácido cítrico y succínico, y sólo se encuentran cantidades traza de ácido málico. Boari *et al.* (2008) reportan que dos variedades de jaboticaba 'Paulista' y 'Sabará' en madurez de consumo tuvieron valores entre 0.97 y 0.99%, lo cual es similar a lo encontrado en el presente trabajo en la etapa madura de los frutos.

La proporción sólidos solubles totales/acidez titulable se incrementó significativamente de los frutos verdes a los frutos medio verdes y maduros, el aumento fue entre 2.6 y 6.3 (cuadro 2). Este cambio se explica por una disminución de la acidez titulable y un incremento de sólidos solubles totales, el índice de sabor es útil para definir calidad en determinados frutos a través de la proporción de dos aspectos de calidad comúnmente evaluados.

*Velocidad de respiración.* La velocidad de respiración fue significativamente mayor en los frutos medio verdes que en los frutos verdes o maduros (cuadro 2). Almedia *et al.* (2011) mencionan que algunos investigadores determinan que, durante el periodo de crecimiento, la actividad respiratoria se incrementa

observa una disminución gradual en la respiración posterior a la cosecha de 116.5 a 95.5 mL kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> (Almedida *et al.* 2011).

*Fenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante.* El contenido de fenoles totales fue significativamente mayor en los frutos verdes y maduros, que en los frutos medio verdes (cuadro 3). El contenido de fenoles totales fue entre 52.2 y 72 mg de ácido gálico por 100 g<sup>-1</sup> de peso fresco (cuadro 3). Boari *et al.* (2008) indican que en las variedades 'Sabara' y 'Paulista', el contenido de fenoles totales en la pulpa estuvo entre 450 y 490 mg 100 g<sup>-1</sup> de peso fresco. Roaquim *et al.* (2013), al evaluar el contenido de fenoles totales en cascara, pulpa y semilla de dos variedades de jaboticaba, determinaron que la pulpa en la etapa de madurez de consumo fue donde se encontró el menor contenido de fenoles totales (<1,500 mg de equivalentes de catequina por 100 g de peso seco). Lo anterior se debe a que, cuando el fruto madura, ciertos compuestos experimentan varias modificaciones químicas y enzimáticas, como hidrólisis de glucósidos por glucosidasas, oxidación de fenoles por fenoloxidasas y la polimerización de fenoles libres. Además, los compuestos fenólicos solubles se encuentran en mayor concentración en partes externas de las plantas, como la cascara, que en las partes internas, como la pulpa (Roaquim *et al.*, 2013). El contenido de fenoles totales en la pulpa fue

**Cuadro 2. Características químicas de frutos de jaboticaba en tres etapas de maduración.**

ETAPA DE MADURACIÓN	SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (°Brix)	ACIDEZ TITULABLE (%)	ÍNDICE DE SABOR (IS)	RESPIRACIÓN (mL kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
Verde	9.7 <sup>c</sup>	2.7 <sup>a</sup>	3.6 <sup>c</sup>	0.38 <sup>b</sup>
Medio verde	12.2 <sup>b</sup>	1.3 <sup>b</sup>	9.4 <sup>b</sup>	18.41 <sup>a</sup>
Maduro	18.4 <sup>a</sup>	0.8 <sup>c</sup>	22.5 <sup>a</sup>	3.89 <sup>b</sup>
DMS	0.99	0.24	2.2	9.70
C.V.	9.6	19.9	24.5	37.89

<sup>z</sup> promedios con letras iguales indican similitud estadística de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

significativamente, y esto se debe a que se relaciona con la necesidad de incrementar la producción de energía para procesos metabólicos de la maduración. También indican que la velocidad de respiración es alta con valores entre 116.5 y 169.3 mL kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. Estos valores fueron menores en la jaboticaba evaluada en el presente trabajo (cuadro 2). Los frutos de jaboticaba tienen un patrón no climatérico; se

mayor que el reportado en otros frutos como el caqui (1.45 mg 100 g<sup>-1</sup>), piña (1.35 mg 100 g<sup>-1</sup>), mango (1.65 mg 100 g<sup>-1</sup>) y guayaba (4.95 mg 100 g<sup>-1</sup>) (Gorinstein *et al.*, 1999), lo que indica que el consumo de jaboticaba aporta mayor cantidad de fenoles que estos frutos.

No se detectó diferencia significativa en el contenido de flavonoides entre las etapas de

**Cuadro 3. Metabolitos funcionales y actividad antioxidante en la pulpa de frutos de jaboticaba en tres etapas de maduración.**

ETAPA DE MADURACIÓN	FENOLES TOTALES (mg EAG 100 g <sup>-1</sup> )	FLAVONOIDES (mg EQ 100 g <sup>-1</sup> )	DPPH	ABTS	FRAP
			mg AA 100 g <sup>-1</sup>		
Verde	63.6 <sup>a,z</sup>	10.4 <sup>a</sup>	91.4 <sup>a</sup>	132.5 <sup>a</sup>	96.4 <sup>a</sup>
Medio verde	52.2 <sup>b</sup>	8.4 <sup>a</sup>	74.4 <sup>b</sup>	120.8 <sup>a</sup>	74.4 <sup>b</sup>
Maduro	72.0 <sup>a</sup>	8.8 <sup>a</sup>	97.0 <sup>a</sup>	121.8 <sup>a</sup>	97.8 <sup>a</sup>
DMS	8.9	18.5	14.8	19.9	9.1
C.V.	18.6	54.3	15.2	14.4	20.0

<sup>z</sup> promedios con letras iguales indican similitud estadística de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

maduración evaluadas (cuadro 3). El contenido de fenoles varió entre 8.8 a 10.4 mg de quercitina por 100 g<sup>-1</sup> de peso fresco (cuadro 3). Roaquim *et al.* (2013) indican que en las variedades de jaboticaba 'Paulista' y 'Sabará' el contenido de flavonoides fue cercano a 2.0 mg 100 g<sup>-1</sup> de peso fresco. En la variedad evaluada en el presente trabajo se encontró hasta cinco veces más flavonoides que lo reportado en la literatura. Mezadri *et al.* (2008) indican que la composición de los frutos depende de algunos factores, como condiciones climáticas, manejo de cultivo, localización geográfica, aplicación de pesticidas, etapa de maduración o procesamiento y almacenamiento.

Se detectaron diferencias significativas en la capacidad antioxidante entre etapas de maduración cuando se evaluó por el método de DPPH y FRAP; no se detectaron diferencias significativas cuando se evaluó por el método de ABTS (cuadro 3). Los frutos en la etapa verde y madura mostraron la mayor actividad antioxidante (cuadro 3). Reynertson *et al.* (2008), al evaluar frutos de 14 especies de Myrtaceae subutilizados, determinaron que la jaboticaba obtuvo la mayor actividad antirradical por el método de DPPH. Roaquim *et al.* (2013), al evaluar la actividad antioxidante por FRAP y DPPH, concluyeron que fue en la etapa de mayor madurez donde se encontró la menor actividad, resultado contrario al encontrado en el presente trabajo.

### Correlaciones simples

La masa del fruto se correlacionó negativamente con los parámetros de color y la acidez titulable, y positivamente con los fenoles totales y el índice de sabor (cuadro 4). Esto indica que frutos de masa mayor

fueron de mayor madurez, dado que eran opacos, rojos y poco brillantes, y presentaron índice de sabor mayor y alto contenido de fenoles, aspecto que se explicó anteriormente con el análisis de varianza (cuadros 1-3).

La luminosidad de los frutos en estado verde fue mayor cuando el contenido de sólidos solubles fue bajo o la acidez titulable alta. Por otra parte, los frutos opacos mostraron mayor cantidad de sólidos solubles totales e índice de sabor y menor acidez titulable (cuadro 4). Los frutos más rojos mostraron una relación positiva con el contenido de sólidos solubles totales e índice de sabor, y negativa con la acidez titulable (cuadro 4). Mayor contenido de sólidos solubles totales se correlacionó negativamente con menor acidez titulable, y positivamente con el índice de sabor y fenoles totales (cuadro 4). El índice de sabor se correlacionó positivamente con la actividad antioxidante por el método de DPPH (cuadro 4). Los fenoles se correlacionaron positivamente con la actividad antioxidante por el método de DPPH, los flavonoides con la actividad antioxidante por el método de FRAP (cuadro 4).

Las correlaciones confirmaron que existen diferencias en las propiedades físicas, químicas y fisiológicas en dependencia de la etapa de maduración. Los fenoles y flavonoides se correlacionan con la actividad antioxidante por el método de DPPH y FRAP, de tal modo que la etapa de madurez de consumo fue la de mayor actividad antioxidante debido a la cantidad de fenoles totales; además, es la etapa en la que adquiere sus máximas características de calidad organoléptica. Khairul *et al.* (2009) indican que la actividad antioxidante se debe evaluar por varios métodos para asegurarse de la capacidad antioxidante del producto, ya que la

**Cuadro 4. Correlaciones simples entre 13 variables físicas, químicas y fisiológicas de frutos de jaborcaba en tres etapas de maduración.**

VARIABLE	r	VARIABLE	r
Masa * L*	-0.46**	C* * IS	-0.77***
Masa * C*	-0.51***	h * SST	-0.42**
Masa*h	-0.27*	h * AT	0.51***
Masa * AT	-0.51***	h * IS	-0.36**
Masa * IS	0.69***	SST * AT	-0.73***
Masa * Fenol	0.31*	SST * IS	0.90**
L* * C*	0.98***	SST * Fenol	0.29*
L* *h	0.58***	AT *IS	-0.83**
L* SST	-0.74***	IS * Fenol	0.34*
L * AT	0.85***	IS * AADPPH	0.45*
L* * IS	-0.73***	Fenol * AADPPH	0.45*
C* * h	0.57***	Flav * AAFRAP	0.38*
C* * SST	-0.78	Resp * AADPPH	-0.64*
C* * AT	0.86***		

L\*= luminosidad, C\*= cromaticidad, h= matiz, AT= acidez titulable, SST= sólidos solubles totales, Fenol= fenoles totales, IS= índice de sabor, Flav= flavonoides; AADPPH= actividad antioxidante por el método de DPPH, actividad antioxidante por el método de FRAP, Resp= respiración.

variación de la relación entre fenoles y actividad antioxidante se atribuye a que el fruto contiene otros agentes reductores como ácido ascórbico, minerales y carotenoides, alto contenido de proteínas o a que existe influencia genética, agronómica o ambiental. En el presente trabajo se evaluaron tres métodos y se observó cierta asociación entre la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles y flavonoides.

## CONCLUSIONES

Los frutos de jaborcaba alcanzan las máximas características de calidad y de metabolitos funcionales, así como de actividad antioxidante en la etapa de mayor maduración. La correlación positiva entre los fenoles y flavonoides con la actividad antioxidante sugieren que los fenoles aportan importante actividad biológica para su consumo.

## LITERATURA CITADA

- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 1995. Official Methods of Analysis. Virginia, USA. 1041 pp.
- Almeida, T. G. H., M. F. Berlingieri D., J. F. Duringan. 2011. Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg. [Myrtaceae]. pp: 246-274. In: Yahia, E. M. (Ed.). Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits: Cocona to Mango: 3. Woodhead Publishing. Sawson, UK.
- Arvouet-Grand, A., B. Vennat, A. Pourrat, P. Legret, 1994. Standardisation d'un extrait de propolis et identification des principaux constituants. Journal de Pharmacie de Belgique 49: 462- 468.
- Balerdi, F. C., R. Rafie, J. Crane. 2006. Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*, Berg.) a delicious fruit with an excellent market potential. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 119: 66-68.
- Benzie, I. F., J. J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. Analytical Biochemistry 239: 70-76.
- Brand-Williams, W., M. E., Culivier, C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensmittel Wissenschaft and Technologie. Food Science Technology 28: 25-30.
- Boari, L. A de J., A. Duarte C., A. P. Carvalho A, C. M. Patto A., A. M. Dantas-Barros. 2008. Caracterizacao química do fruto jaboticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg) e de suas fracoes. Archivos Latinoamericano de Nutrición 58: 416-421.
- Castillo, L. E. M. 2011. Introducción al SAS® para Windows. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 295 pp.
- Clerici, M. T. P. S., L. B. Carvalho-Silva. 2011. Nutritional bioactive compounds and technological aspects of minor fruits grown in Brazil. Food Research International 44: 1568-1670.
- Duarte, O., R. E. Paull. 2015. Exotics Fruits and Nuts of the New World. CABI Publishing. Wallingford, UK. 332 pp.
- Einbond, L. S., K. A. Reynerston, X. D. Luo, M. J. Basile, E. J. Kenelly. 2004. Anthocyanin antioxidants from edible fruits. Food Chemistry 84: 23-28.
- Gorinstein, S., M. Zemser, R. Haruenkist, R. Chunthakorn, F. Grauer, O. Martin-Belloso, S. Thakhtenberg. 1999. Comparative content of total polyphenols and dietary fiber in tropical fruits and persimmon. The Journal of Nutritional Biochemistry 10: 367-371.
- Khairul I., E. H., K. Hock E., A. M. Mhd J., A. Ismail, S. Idris, A. Azlan, H. S. Mohd N., N. A. Mat D., R. A. Mohd M. 2009. Antioxidant capacity and total phenolic content of Malaysian underutilized fruits. Journal of Food Composition and Analysis 22: 388-393.
- McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience 27: 1254-1255.
- Mezadri, T., D. Villaño, M. S. Fernández-Pachón, M. C. García-Parrilla, A. M. Troncoso. 2008. Antioxidant compounds and antioxidant activity in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits and derivatives. Journal of Food Composition and Analysis 21: 282-290.
- Morton, J. 2013. Fruits of Warm Climates. Echo Point Books & Media. Brattleboro, USA. 505 pp.
- Ou, B., M. Hampsch-Woodil, R. L. Prior. 2001. Development and validation of an improved oxygen radical oxygen assay using fluorescein as the fluorescent probe. Journal of Agricultural and Food Chemistry 49: 4619-4626.
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, C. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine 26: 1231-1337.
- Reynerston, K. A., H. Yanh, B. Jiang, M. J. Basile, E. J. Kenelly 2008. Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. Food Chemistry 109: 883-890.
- Roaquim, A. M., P. Dubé, Y. Desjardins, F. M. Lajolo, M. I. Genovese. 2013. Comparative study of chemical and phenolic composition of two species of jaboticaba: *Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg. and *Myrciaria cauliflora* (Mart.) O Berg. Food Research International 54: 468-477.
- Salveit, M. E. 2016. Respiratory metabolism. pp: 139-156. In: Pareek, S. (Ed.). Postharvest Ripening Physiology of Crops. CRC Press-Taylor & Francis Group. Boca Raton, USA.
- Singleton, V. L., R. Orthofer, R. M. Lamuela-Raventos. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Methods in Enzymology 299: 152-178.
- Zanatta C. F., E. Cuevas, F. O. Bobbio, P. Winterhalter, A. Z. Mercadante. 2005. Determination of anthocyanins from camu-camu (*Myrciaria dubia*) by HPLC-PDA, HPLC-MS, and NMR. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 9531-9535.
- Wu, S. B., C. Long, E. J. Kenelly. 2013. Phytochemistry and health benefits of jaboticaba, an emerging fruit crop from Brazil. Food Research International 154: 148-159.