



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA,
BROMATOLÓGICA Y FITOQUÍMICA DE ZAPOTE NEGRO
(*Diospyros digyna* Jacq.).**

TESIS

Que presenta:

CINDY NEFTALY NAVARRETE ZAPATA

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

DR. EDUARDO VILLANUEVA COUOH

Conkal, Yucatán, México

Septiembre, 2019



TecNM



Conkal, Yucatán, México, 24 de septiembre de 2019.

El comité de tesis del candidato a grado: Cindy Neftaly Navarrete Zapata, constituido por los CC. Eduardo Villanueva Couoh, Daniel Eduviges Cituk Chan y Luis Leonardo Pinzón López, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: Caracterización morfológica, bromatológica y fitoquímica de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.), que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dr. Eduardo Villanueva Couoh
Director de Tesis

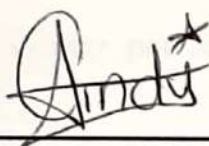
M.C. Daniel Eduviges Cituk Chan
Co-director de Tesis

Dr. Luis Leonardo Pinzón López
Asesor de Tesis

Conkal, Yucatán, México, 24 de septiembre de 2019.

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.



Ing. Cindy Neftaly Navarrete Zapata

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico de Conkal, por brindarme sus instalaciones para realizar la maestría en Ciencias en Horticultura Tropical y a la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI) por aceptarme.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca para la realización de este posgrado.

A mis asesores: Dr. Eduardo Villanueva Couoh, M.C. Daniel Eduviges Cituk Chan y al Dr. Luis Leonardo Pinzón López, por el tiempo, paciencia y consejos brindados en el transcurso de estos dos años en el posgrado, en especial al M.C. Daniel por haberme inculcado trabajar con frutas tropicales, y creer en mi desde la licenciatura.

A la Dra. Kati Beatriz Medina Dzul y a los técnicos del laboratorio de Agua-Suelo-Planta, Martina, Magdalena, Francisco y Cruz por ayudarme en las determinaciones bromatológicas y fitoquímicas realizadas en este trabajo.

Al Dr. Horacio Salomón Ballina Gómez por apoyarme en esos momentos de colapso estadístico.

A los productores: Sra. Lilia Margely Chan Chan, Sra. Margarita Pacheco Montalvo, Sr. Rubén Buenfil, Sr. Carlos Argáez y al Sr. Alfredo Puc Sierra por permitir el acceso a sus huertas de producción.

A mi familia; mi madre doña Elvia Patricia Zapata Couoh por creer en mí, a mis hermanas Jossie Patricia y Neyda Agustina por motivarme siempre, a mis lindas sobrinitas Brythany y Melody por sacarme muchas sonrisas en esos momentos de estrés.

A mi novio Ing. Luis Enrique Medrano Ortigón, por ayudarme en la determinación de las variables morfológicas y fitoquímicas.

A mis amigas: Yaneli (Nely) Mis, Rocío Meneses y Luisita Meza por su ayuda y consejos brindados.

“Deja que la comida sea tu medicina y la medicina tu alimento”. Hipócrates, 400 A.C.

¡GRACIAS!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARATORIA DE PROPIEDAD	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.2.1. El zapote negro	2
1.2.2. Importancia económica	2
1.2.3. Frutos partenocárpicos y no partenocárpicos	3
1.2.4. Maduración del zapote negro	3
1.2.5. Morfología de zapote negro	3
1.2.6. Características bromatológicas	4
1.2.7. Compuestos fitoquímicos y capacidad antioxidante	5
1.3. HIPÓTESIS	7
1.4. OBJETIVOS	8
1.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	9
1.6. LITERATURA CITADA	10
II. CAPÍTULO 2	13
2.1. RESUMEN Y ABSTRACT	13
2.2. INTRODUCCIÓN	15
2.3. MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.3.1. Localización del proyecto	16
2.3.2. Colecta de material vegetal	16
2.3.3. Variables morfológicas	16
2.3.4. Fases de maduración	17
2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
2.5. CONCLUSIONES	23
2.6. LITERATURA CITADA	24

III. CAPÍTULO 3.	26
3.1. RESUMEN Y ABSTRACT	26
3.2. INTRODUCCIÓN	28
3.3. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.3.1. Muestras	30
3.3.2. Análisis bromatológicos	30
3.3.3. Determinación de fitoquímicos	34
3.3.4. Capacidad antioxidante.	36
3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.5. CONCLUSIONES	41
3.6. LITERATURA CITADA	42
IV. CONCLUSIONES GENERALES	45

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros

Cuadro 1. Variables morfológicas de hojas de zapote negro (<i>Diospyros digyna</i> Jacq.).	18
Cuadro 2. Comparación de medias de variables morfológicas en frutos de zapote negro.	20
Cuadro 3. Descripción de las fases de maduración del zapote negro.	21
Cuadro 4. Análisis bromatológicos de frutos no partenocárpicos y partenocárpicos de zapote negro.	38
Cuadro 5. Minerales totales presentes en frutos partenocárpicos y no partenocárpicos de zapote negro.	39
Cuadro 6. Fitoquímicos predominantes en frutos partenocárpicos y no partenocárpicos de zapote negro (<i>Diospyros digyna</i> Jacq.).	40
Cuadro 7. Capacidad antioxidante de frutos partenocárpicos y no partenocárpicos de zapote negro.	40

Figuras

Figura 1. Características morfológicas de la flor de zapote negro (<i>Diospyros digyna</i> Jacq.)	19
Figura 2. Forma de frutos de zapote negro A) Cordiforme alargado, B) cordiforme, C) oval y D) redonda.....	19

RESUMEN

Diospyros digyna perteneciente a la familia de las *Ebenáceas*, recibe varios nombres comunes como zapote negro, zapote prieto, black persimmon y taúch (maya), esta especie es originaria de México y Centroamérica. En el 2017 para México se reportan 70.80 ha sembradas de zapote negro. El zapote negro es considerado climatérico ya que atraviesa por diferentes fases antes de llegar a la madurez de consumo, el mesocarpio es de color negro al madurar y contienen 12 semillas en promedio, en años recientes se han realizado reportes de frutos de zapote negro partenocárpico (sin semillas) que agrónomicamente representan una oportunidad de mercado. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue determinar y comparar las características morfológicas, bromatológicas y fitoquímicas en frutos partenocárpico y no partenocárpico de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.). La colecta de los frutos se realizó en el estado de Yucatán, en los municipios de Akil y Cholul, se tomaron en cuenta variables cualitativas y cuantitativas del árbol y sus componentes para los aspectos morfológicos. Los frutos tuvieron un peso de 318.6 g y 470.3 g, con longitud de 99.3 y 94.3 mm y diámetro de 85.3 y 101 mm en frutos no partenocárpico y partenocárpico respectivamente. Se determinaron cinco fases de maduración; con firmezas de 3.23, 0.74, 0.48, 0.26, 0.25 kg cm⁻² y sólidos solubles totales de 14.92, 16.16, 17.48, 17.76, 14.24 °Brix para cada fase. El análisis bromatológico constó de siete variables, se encontró diferencias significativas en el contenido de grasa cruda con 0.70 % para frutos partenocárpico, los frutos no partenocárpico obtuvieron un mayor porcentaje de fibra cruda con 5.3 %. Se determinaron fitoquímicos: fenoles con 100.1 y 102.7 mg 100 g⁻¹, antocianinas con 2.1 y 0.9 mg 100 g⁻¹, flavonoides con 1777.7 y 1586.8 mg 100 g⁻¹ y carotenoides con 3 y 2.2 mg 100 g⁻¹ para frutos no partenocárpico y partenocárpico donde no se encontró diferencias significativas, y dos ensayos para capacidad antioxidante DPPH (388.9 y 403 µM 100 g⁻¹) y ABTS con 131.8 y 129.6 mM100 g⁻¹ para frutos no partenocárpico y partenocárpico donde no se encontraron diferencias significativas.

Palabras clave: ebenáceas, zapote negro, partenocárpico.

ABSTRACT

Diospyros digyna belonging to the Ebenáceas family, receives several common names such as black zapote, zapote prieto, black persimmon and taúch (maya), this species is native to Mexico and Central America. In 2017 for Mexico, 70.80 hectares of black sapote are reported. Black zapote is considered climacteric since it goes through different phases before reaching the maturity of consumption, the mesocarp is black when ripe and contains 12 seeds on average, in recent years reports of parthenocarpic black sapote fruits have been made (without seeds) which agronomically represent a market opportunity. Therefore, the objective of this work was to determine and compare the morphological, bromatological and phytochemical characteristics in parthenocarpic and nonparthenocarpic fruits of black zapote (*Diospyros digyna* Jacq.). The fruits were collected in the state of Yucatán, in the municipalities of Akil and Cholul, qualitative and quantitative variables of the tree and its components were taken into account for morphological aspects. The fruits had a weight of 318.6 g and 470.3 g, with a length of 99.3 and 94.3 mm and a diameter of 85.3 and 101 mm in nonparthenocarpic and parthenocarpic fruits respectively. Five maturation phases were determined; with firmness of 3.23, 0.74, 0.48, 0.26, 0.25 kg cm⁻² and total soluble solids of 14.92, 16.16, 17.48, 17.76, 14.24 °Brix for each phase. The bromatological analysis consisted of seven variables, significant differences were found in the raw fat content with 0.70% for parthenocarpic fruits, nonparthenocarpic fruits obtained a higher percentage of raw fiber with 5.3 %. Phytochemicals were determined: phenols with 100.1 and 102.7 mg 100 g⁻¹, anthocyanins with 2.1 and 0.9 mg 100 g⁻¹, flavonoids with 1777.7 and 1586.8 mg 100 g⁻¹ and carotenoids with 3 and 2.2 mg 100 g⁻¹ for non-fruits parthenocarpic and parthenocarpic where no significant differences were found, and two trials for antioxidant capacity DPPH (388.9 and 403 μM 100 g⁻¹) and ABTS with 131.8 and 129.6 mM 100 g⁻¹ for nonparthenocarpic and parthenocarpic fruits where no significant differences were found.

Keywords: ebenáceas, black zapote, parthenocarpics.

I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.

1.1. INTRODUCCIÓN

El consumo de frutas tropicales y subtropicales está en aumento en todo el mundo debido al valor nutricional y terapéutico de estas, por ser fuentes importantes de diversos compuestos fitoquímicos con actividad antioxidante que pueden beneficiar a la salud, entre ellos se encuentran los fenoles, flavonoides, carotenoides y antocianinas asociadas al decremento de contraer enfermedades crónicas y cardiovasculares (Yahia, 2010; Cardoso *et al.*, 2011). En algunas frutas se pueden encontrar carotenoides como el licopeno que presenta una actividad antiproliferativa de células cancerosas (Heber, 2004; Obermuller *et al.*, 2003).

El zapote negro, zapote prieto, matasano de mico, black persimmon (inglés) o taúch en lengua maya (*Diospyros digyna* Jacq.) pertenece a la familia de las *Ebenáceas* (Crane y Balerdi, 2005). Es una especie exótica que actualmente se produce en México y que presenta un alto potencial para el aprovechamiento nutricional y farmacéutico. En el 2017 para México se reportan 70.80 ha sembradas de zapote negro con una producción de 420.55 toneladas con un valor de producción \$883,030 (SIAP, 2017), siendo una especie nativa del sur de México y Centroamérica (Martín *et al.*, 1987).

Niembro *et al.* (2010); Morton, (1987) y Miller *et al.*(1998), mencionan que con el mesocarpio del zapote negro se elaboran bebidas mezcladas con cítricos, paletas, helado, tamales, gelatinas, jaleas y mermeladas, generando ingresos en la economía familiar, al igual el aprovechamiento de las semillas las cuales son utilizadas para la elaboración de accesorios artesanales, las frutas inmaduras, la corteza y hojas contienen altas concentraciones de taninos por lo que son usadas para aturdir a los peces debido a sus propiedades estupefacientes, tiene un uso medicinal usado en casos de diarrea, lepra tiña y sarna, en América Central se utilizan los frutos fermentados para la elaboración de licor (brandy).

Yahia *et al.* (2011), encontraron compuestos fenólicos en el mesocarpio del fruto de *Diospyros digyna* Jacq. provenientes del estado de Querétaro, entre los cuales se encuentra ácido sinapico, miricetina, ácido ferúlico y catequina; carotenoides como β -caroteno y luteína, también caracterizó física y químicamente el fruto midiendo el peso, el color interno y externo y el contenido total de sólidos solubles dando como resultado 17.87 ± 0.98 °Brix

en 100 g de fruta fresca. Moo *et al.* (2014), reportan que el fruto de zapote negro cuenta con 22.33 °Brix de sólidos solubles totales siendo esta cantidad la más alta comparada con diferentes especies tropicales cultivadas en el estado de Yucatán con excepción del género *Citrus* spp. Se analizó el contenido de fibra dietética total dando como resultado 20.44 g, 59.52 g de vitamina C, 14.19 mg de antocianinas totales, 158.48 mg de compuestos fenólicos totales, 376.04 mg de flavonoides totales y 7.99 mg carotenoides totales en 100 g de pulpa.

Es importante señalar que, en los trabajos realizados en esta especie, se desconoce el origen de la planta del que provienen dichos frutos, de aquí la importancia de realizar un estudio científico que permita obtener información sobre la morfología, bromatología y fitoquímica de dos materiales vegetales; uno de frutos no partenocárpicos y otro de frutos partenocárpicos de zapote negro establecidos en el estado de Yucatán.

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. El zapote negro

Diospyros es el género más representativo de la familia de las Ebenaceae, con 500 especies, en el continente americano se encuentran 100, de las cuales 20 especies se localizan en territorios mexicanos (Hiern, 1873). Esta especie se distribuye principalmente en las zonas tropicales y subtropicales (Wallnöfer, 2001). En México la especie más aprovechada, con mayor distribución silvestre y cultivada es *Diospyros digyna* Jacq. (Probance *et al.*, 2013; García *et al.*, 2015). En Yucatán se encuentran ocho especies: *D. anisandra*, *D. bumelioides*, *D. campechiana*, *D. digyna*, *D. Tetrasperma*, *D. yatesiana*, *D. yucatanensis* ssp. Spectabilis, *D. yucatanensis* spp. *Longipedicellata*. Sin embargo *Diospyros digyna* es la única especie comestible de este género en Yucatán (Wallnöfer, 2001).

1.2.2. Importancia económica

En México para el 2017 se reporta una superficie sembrada de 2,047.31 ha y una superficie cosechada de 1,886.31 ha de zapote con una producción de 16,687.08 t y un valor de producción de \$68,553.81 miles de pesos, entre los estados productores están Campeche, Michoacán, Oaxaca, Veracruz, Yucatán, Chiapas, Colima, Morelos, Tabasco, México,

Guerrero, Puebla e Hidalgo. Para zapote negro se reportan 70.80 ha sembradas y cosechadas con una producción de 420.55 t y un valor de producción de \$883,030 (SIAP, 2017).

1.2.3. Frutos partenocárpicos y no partenocárpicos

Crane y Balerdi (2005) señalan que hay presencia de frutos partenocárpicos y no partenocárpicos de zapote negro, la diferencia entre estos materiales es la ausencia de semillas. Los frutos partenocárpicos no tienen semillas, sin embargo, son más grande que los frutos no partenocárpicos que contienen de 1 a 12 semillas. Rodríguez y Tozzi (2007), mencionan que puede haber diferencias morfológicas y nutricionales entre plantas de frutos no partenocárpicos y partenocárpicos.

1.2.4. Maduración del zapote negro

La maduración es el proceso que ocurre después del estado de crecimiento del fruto, existen cuatro tipos de maduración; madurez fisiológica hace referencia a la etapa del desarrollo del fruto en el cual se ha producido el máximo crecimiento y desarrollo, madurez de cosecha se conoce como el momento en que el fruto se encuentra en la planta y presenta una serie de cualidades para comercializarse como el tamaño, color y forma, madurez comercial es el grado de madurez del fruto es comúnmente comercializado y satisface las necesidades del consumidor, madurez de consumo es el estado de madurez en que el fruto ha adquirido características propias de apariencia, consistencia, textura, sabor y aroma (Rojas *et al.*, 2004).

Los frutos se dividen en dos grupos, dependiendo del tipo de maduración: -no climatérico hace referencia a las frutas que no tienen la capacidad de continuar con los procesos de maduración, una vez que son removidas de la planta, -climatéricos son aquellos frutos que pueden ser cosechados en su madurez fisiológica y continúan su proceso hasta llegar a la madurez de consumo fuera de la planta (Rojas *et al.*, 2004).

1.2.5. Morfología de zapote negro

Lucena *et al.* (2007) realizaron la caracterización de cinco variedades de caqui (*Diospyros kaki* L.) madurados en planta y en post cosecha, encontró que la variedad rubí

presentó un mayor diámetro longitudinal (64.5 mm), la variedad pomelo obtuvo el mayor diámetro transversal (61.5), el mayor peso lo registro la variedad rama fuerte.

Por otro lado, Silva *et al.* (2010) caracterizaron a *Diospyros ebenaster* Retz. como un fruto carnoso indehiscente de tipo baya polispérmico, achatado en los polos y con cáliz persistente. El epicarpio es liso y delgado de coloración verdosa, el mesocarpio cambia de coloración amarillenta y consistencia firme a coloración marrón y consistencia gelatinosa al madurar. En la parte central del fruto se encuentran ocho lóculos (Silva *et al.*, 2010), sin embargo, se encuentra un número variable de semillas (entre uno y ocho) (Lopes, 1999).

La longitud del fruto de zapote negro es de 7.4 a 10.1 cm con un diámetro de 7.9 a 9.7 cm y peso de entre 215 a 346 g. Las semillas de *Diospyros ebenaster* Retz. son ovoides, planas-convexas, estenospérmicas en ocasiones, con testa lisa de color marrón-oscuro, el hilo se sitúa en el ápice del eje de la semilla, la masa de 100 semillas pesa 100.6 g, cada semilla tiene una longitud de 1.9 a 2.5 cm y un diámetro de 1.1 a 1.6 cm (Silva *et al.*, 2010). Yahia *et al.* (2011) realizaron un estudio con zapote negro en el estado de Querétaro, los frutos se obtuvieron de mercados locales, reportando un peso de 179.97 g para el fruto.

1.2.6. Características bromatológicas

Moo *et al.* (2014) realizaron la determinación de variables bromatológicas y compuestos fitoquímicos en frutos de 19 especies que se cultivan y consumen en el estado de Yucatán entre los cuales se encuentra el zapote negro, los frutos utilizados en este trabajo se obtuvieron de mercados locales, menciona que el fruto de zapote negro tiene 75.72 g 100 g⁻¹ de humedad con 22.33 °Brix, una acidez titulable de 0.91 g de ácido cítrico 100 g⁻¹ de peso fresco, fibra dietética de 20.44 g/100 g de peso seco. De igual forma se determinó el contenido de vitamina C, para el zapote negro es de 59.52 mg de vitamina C 100 g⁻¹ de peso fresco. Yahia *et al.* (2011) reportaron para el zapote negro 17.87 °Brix de sólidos solubles totales, sin embargo, Lucena *et al.* (2007) mencionan que los frutos madurados en post cosecha presentan mayor contenido de sólidos solubles a comparación de los madurados en planta.

Baltacioglu y Artik (2013) realizaron un estudio de los cambios postcosecha en la composición química del caqui (*Diospyros kaki* L.), encontraron 21.2 °Brix, valor más alto

comparado con otras cuatro variedades al igual que el contenido de cenizas (0.47 %), la variedad Morali presentó mayor porcentaje de cenizas (83.1 %) y la variedad Türkay presentó 1.16 % de fibra cruda y 0.07 % de grasa cruda.

1.2.7. Compuestos fitoquímicos y capacidad antioxidante

Moo *et al.* (2014) determinaron cuatro familias de fitoquímicos de los cuales se encuentran: antocianinas totales, compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y carotenoides totales, de los cuales se le atribuye para zapote negro 14.19 mg de antocianinas totales 100 g⁻¹ PF el cual a comparación de las trece especies estudiadas el zapote negro fue el que obtuvo un mayor valor, 158.48 mg equivalentes de ácido gálico 100 g⁻¹ PF, 376 mg de quercetina 100 g⁻¹ PF y 7.99 mg de β-caroteno 100 g⁻¹ PF, respectivamente.

Por otro lado, la capacidad antioxidante se determinó con los ensayos DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo) y ABTS (2,20-Azinobis-3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfónico), los valores obtenidos de TEAC (capacidad antioxidante equivalente a trolox) y VCEAC (capacidad antioxidante equivalente a vitamina C) para zapote negro es: TEAC (μm 100 g⁻¹ de peso fresco) 559.78 y 118.44 en los ensayos de ABTS y DPPH respectivamente; VCEAC (mg 100 g⁻¹ de peso fresco) es de 163.21 y 25.40 en ensayos de ABTS y DPPH respectivamente (Moo *et al.*, 2014).

Yahia *et al.* (2011) mencionan que el zapote negro tiene 247.816 mg equivalentes de ácido gálico 100 g PF de fenoles solubles totales y carotenoides totales 399.409 μg β-caroteno 100 g⁻¹ de peso fresco. Sin embargo, se identificaron diez compuestos fenólicos de los cuales cinco fueron ácidos hidroxicinámicos: sinápico (110.71), ferúlico (82.00), cafeíco (25.23), cinámico (9.84) y p-cumárico (8.64); dos fueron flavan-3-oles (derivados de flavonoides): catequina (79.941) y epicatequina (18.53); dos eran ácidos hidroxibenzoicos: p-hidroxibenzoico (24.10) y protocatéquico (4.75); un flavonol (clase de flavonoides): miricetina (85.01) todos los valores expresados en mg 100 g⁻¹ peso seco.

Para carotenoides se identificaron 2 compuestos: luteína 0.29 mg 100 g⁻¹ de peso seco y β-caroteno 5.13 mg 100 g⁻¹ de peso seco. Se determinó la capacidad antioxidante en zapote negro utilizando DPPH y FRAP. La capacidad fue mayor en extractos hidrofílicos a comparación de los lipofílicos utilizando los dos ensayos; en los extractos hidrofílicos se

determinó una capacidad antioxidante de 302.7 mg equivalentes de ácido ascórbico 100 g⁻¹ peso seco y en extractos lipofílicos 2.2 mg equivalentes de ácido ascórbico 100 g⁻¹ peso seco por DPPH; y en extractos hidrofílicos 501.5 mg equivalentes ácido ascórbico 100 g⁻¹ de peso seco, para los extractos lipofílicos no se detectó por FRAP (Yahia *et al.*, 2011).

1.3. HIPÓTESIS

Existen diferencias morfológicas entre plantas de frutos partenocárpicos y no partenocárpicos, que permiten identificar y predecir qué tipo de fruto se cosechará.

Los frutos partenocárpicos tienen igual o mayor contenido de compuestos nutricionales.

1.4. OBJETIVOS

Objetivo general

Describir las características morfológicas, bromatológicas y fitoquímicas en frutos partenocárpicos y no partenocárpicos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.).

Objetivos específicos

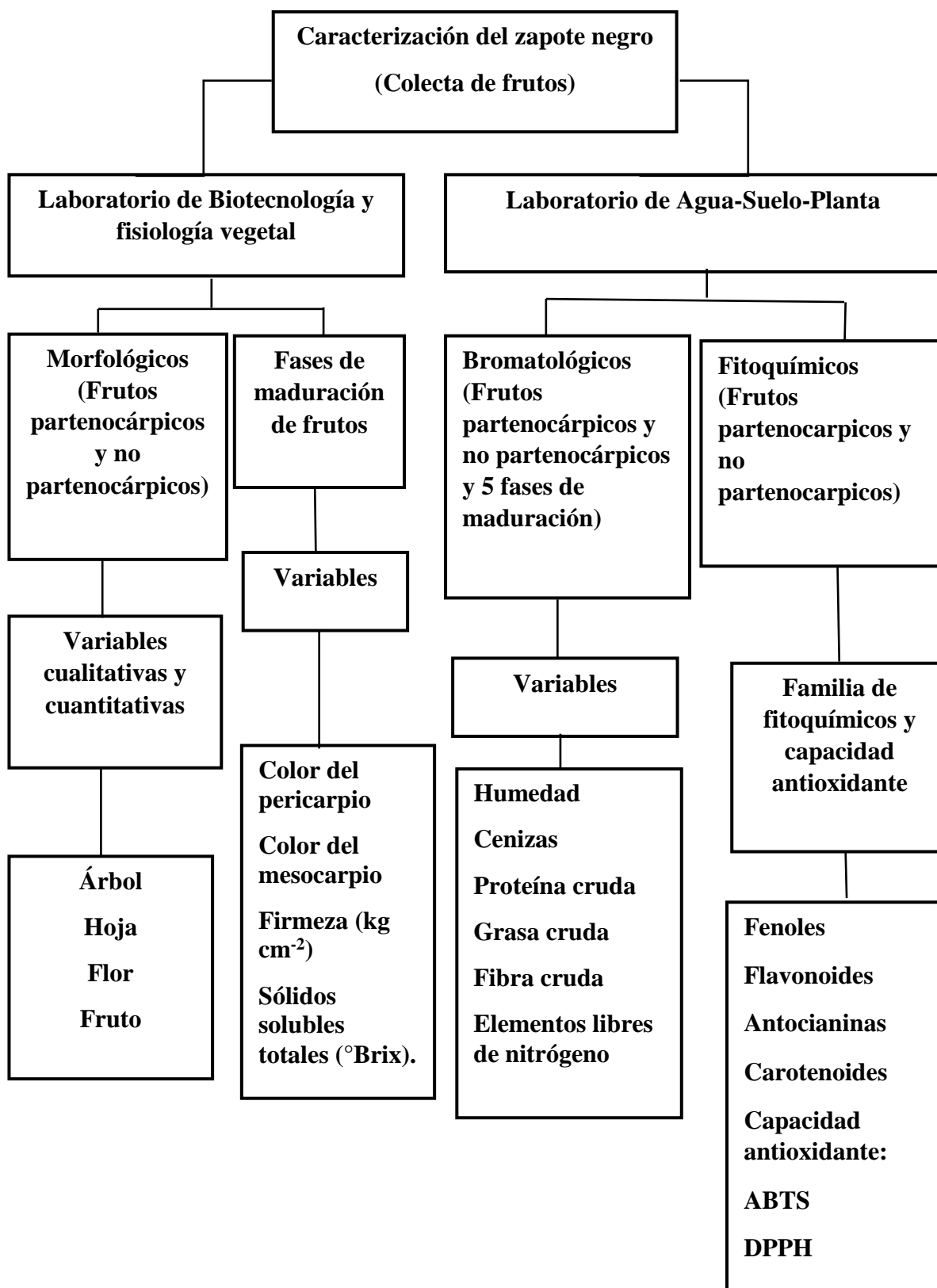
Determinar las características morfológicas de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.).

Describir las fases de maduración del zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.).

Determinar las características bromatológicas de frutos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.).

Identificar la composición fitoquímica en frutos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.) y su capacidad antioxidante.

1.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



1.6. LITERATURA CITADA

- Baltacioglu, Handen y Artik Nevzat. 2013. Study of postharvest changes in the chemical composition of persimmon by HPLC. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 37:568-574.
- Cardoso, L. M., Martino, H. S. D., Moreita, A. V. B., Ribeiro, S. M. R. y M. P. Santana H. 2011. Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) of the Cerrado of Minas Gerais, Brazil: Physical and chemical characterization, carotenoids and vitamins. Food Research International 44: 2151–2154.
- Crane, J. H. y C. Balerdi. 2005. "Black Sapote Growing in the Florida Home Garden". Obtenido de growables.com Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida: <https://www.growables.org/information/TropicalFruit/BlackSapote.htm>
- García, D. R. J., A. Cuevas S., S. Segura L., y F. Basurto P. 2015. Análisis panbiogeográfico de *Diospyros* spp. (Ebenaceae) en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6: 187-200.
- Heber, D. 2004. Vegetables, fruits and phytoestrogens in the prevention of diseases. Journal of Postgraduate Medicine 50: 145–149.
- Hiern, W., P. 1873. A monograph of Ebenaceae. Transactions of the Cambridge Philosophical Society 12: 27-300.
- Lopes, R. C. 1999. Ebenaceae Vent. do Estado do Rio de Janeiro. Rodriguésia 50: 85-107.
- Lucena, C. Italo H., Martins A. Baldo G., de Moraes O. Inez V. y Beckmann-Cavancante Markilla Z. 2007. Características de frutos de cinco variedades de caqui madurados en la planta o en post cosecha. Revista de Biología e ciencias da terra. 7 (2): 2001-2009.

- Martín, F., C. W. Campbell y R. M. Ruberté. 1987. Perennial Edible Fruits of the Tropics. An inventory. Agricultural Research Service. USDA. Agriculture Handbook 642 p.
- Miller, W. R., Sharp J. L, Baldwin E. 1998. Quality of irradiated and nonirradiated black sapote (*Diospyros digyna* Jacq.) after storage and ripening. Agricultural Research Service TEKTRAN, 110: 215-218.
- Moo, H. V., M., I. Estrada-Mota., R. Estrada-León., L. Cluevas-Glory., E. Ortiz-Vázquez., M. de L. Varga y Vargas., D. Betancur-Ancona., and E. Sauri-Duch. 2014. Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. Food Chemistry 152: 508-515.
- Morton, J. F. 1987. Fruits of Warm Climates, Publ. Miami, FL. U.S.A. pp: 416-418.
- Niembro, A., Vázquez M., y Sánchez O. 2010. Árboles de Veracruz 100 especies para la reforestación estratégica. Secretaria de Educación. Gobierno del estado de Veracruz. Xalapa, Veracruz.
- Obermuller-Jevic, U. C., E. Olano-Martin., M. Corbacho A., P. Eiserich, J., A. Vander V., y G. Valacchi. 2003. Lycopene inhibits the growth of normal human prostate epithelial cells in vitro. Journal of Nutrition, 133: 3356–3360.
- Provance, M., C., y C. Sanders A. 2006. More american black sapotes: new *Diospyros* (Ebenaceae) for Mexico and Central America. SIDA 22: 277-304.
- Rodrigues, R. S., y M. G. Tozzi A. 2007. Morphological analysis and re-examination of the taxonomic circumscription of *Acosmium* (Leguminosae, Papilionoideae, Sophoreae). *Taxon* 56: 439-452.
- Rojas, A. Juan M., Peñuela M. Aida E., Gómez P. Claudia R., Aristizábal V. Gloria E., Chaparro C. María C. y López R. José A. 2004. Caracterización de los productos hortifrutícolas colombianos y establecimiento de las normas técnicas de calidad. FERIVA S.A. pp. 18-25

- SIAP. 2017. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo “Modalidad riego+temporal”. SAGARPA, D. F., México. Disponible: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (consulta febrero 06, 2019)
- Silva, C. R., I. V. De Morais O., F. Vitti M., A. B. Geraldo M. 2010. Caracterização morfológica do fruto, semente e morfofunção de plântulas de sapoteira-preta (*Diospyros ebenaster* Retz.). *Comunicata Scientiae* 1: 9-14
- Wallnöfer, B. 2001. The biology and systematics of Ebenaceae: a review. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien* 103: 485-512
- Yahia, E., M. 2010. The contribution of fruit and vegetable consumption to human health. *Phytochemicals: Chemistry, nutritional and stability*. Wiley-Blackwell (Chapter 1).
- Yahia, E. M., F. Gutierrez-Orozco y C. Arvizu-de Leon. 2011. Phytochemical and antioxidant characterization of the fruit of black sapote (*Diospyros digyna* Jacq.). *Food Research International* 44: 2210–2216.

II. CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y FASES DE MADURACIÓN DE ZAPOTE NEGRO (*Diospyros digyna* Jacq.).

Cindy Neftaly Navarrete Zapata¹, Eduardo Villanueva Couoh¹, Daniel Eduviges Cituk
Chan¹ y Luis Leonardo Pinzón López¹

Tecnológico Nacional de México- Instituto Tecnológico de Conkal/División de Estudios de
Posgrado e Investigación, Avenida Tecnológico S/N Conkal, Yucatán, México. C.P. 97345

2.1. RESUMEN Y ABSTRACT

El zapote negro originario de México y Centroamérica pertenece a la familia de las ebenáceas. En el 2017 para México se reportaron 70.80 ha sembradas con una producción de 420.55 t y un valor de producción de \$883,030.48. Este fruto se consume en fresco gracias a sus características organolépticas de igual forma posee un alto valor nutricional. El mesocarpio de esta especie es de color negro al madurar y contienen 12 semillas en promedio, sin embargo, en años recientes han reportado frutos partenocárpicos (sin semillas) que agrónomica y comercialmente representan una oportunidad atractiva para el mercado, los frutos de esta especie son considerados como climatéricos y pasa por varias fases hasta llegar a su madurez de consumo. Se encuentra muy pocos estudios relacionados con la caracterización morfológica de planta y frutos del zapote negro, por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue describir las caracterizar morfológicas y determinar las fases de maduración del zapote negro. En octubre de 2018, se realizó la colecta de frutos no partenocárpicos (NPC) y partenocárpicos (PC) en el estado de Yucatán, se consideraron variables cualitativas y cuantitativas para árbol, hoja, flor y fruto. Se encontró que el tallo es de color negro distintivo de esta especie, con forma de copa columnar ancha. El limbo de la hoja es lanceolado con borde liso, las flores son de color amarillo y la corola es de forma tubular ancho. Se encontraron frutos NPC y PC con cuatro formas de fruto: cordiforme alargado y oval en frutos no partenocárpicos; cordiforme y redonda para frutos partenocárpicos, el pericarpio es liso de color verde-amarillo con un peso de 318.58 g y 470.32 g, longitud (mm) 99.29 y 94.26, diámetro (mm) 85.32 y 101.04, diámetro del

mesocarpio (mm) 22.05 y 28.17 en frutos no partenocárpicos y partenocárpicos respectivamente, de igual forma se encontraron cinco fases de maduración.

Palabras clave: partenocárpicos, no partenocárpicos, frutos, maduración.

ABSTRACT

The black zapote native to Mexico and Central America belongs to the family of Ebenáceas. In 2017, 70.80 ha were sown for Mexico with a production of 420.55 t and a production value of \$883,030.48. This fruit is consumed fresh thanks to its organoleptic characteristics, it also has a high nutritional value. The mesocarp of this species is black when ripe and contains 12 seeds on average, however, in recent years they have reported parthenocarpic fruits (without seeds) that agronomically and commercially represent an attractive opportunity for the market, the fruits of this species are considered as climacteric and goes through several phases until reaching its maturity of consumption. Very few studies are found related to the morphological characterization of the plant and fruits of the black zapote, therefore, the objective of the present work was to describe the morphological characterization and determine the maturation phases of the black zapote. In October 2018, the collection of nonparthenocarpic (NPC) and parthenocarpic (PC) fruits in the state of Yucatán was carried out, qualitative and quantitative variables were considered for tree, leaf, flower and fruit. It was found that the stem is distinctive black of this species, shaped like a wide columnar cup. The leaf blade is lanceolate with a smooth border, the flowers are yellow and the corolla is wide tubular. NPC and PC fruits with four forms of fruit were found: elongated and oval cordiform in nonparthenocarpic fruits; Cordiform and round for parthenocarpic fruits, the pericarp is smooth green-yellow with a weight of 318.58 g and 470.32 g, length (mm) 99.29 and 94.26, diameter (mm) 85.32 and 101.04, mesocarp diameter (mm) 22.05 and 28.17 in nonparthenocarpic and parthenocarpic fruits respectively, five maturation phases were found in the same way.

Keywords: parthenocarpic, nonparthenocarpic, fruits, ripening.

2.2. INTRODUCCIÓN

El zapote negro es una especie de la familia de las ebenáceas originaria de México y Centro América (Donadio *et al.*, 1998; Crane y Balerdi, 2005). En México para el 2017 se reporta una superficie sembrada de 70.80 ha y cosechadas con una producción de \$883,030.48 de zapote negro (SIAP, 2017). El fruto es consumido en fresco o procesado, con el mesocarpio se elaboran diferentes postres como gelatinas, panes, helados, malteadas, etc. (Niembro *et al.*, 2010).

Los frutos se clasifican de acuerdo a su maduración en climatéricos (que aumentan la respiración y síntesis de etileno al comienzo de madurez) y no climatéricos (los que no lo hacen) (Lelièvre *et al.*, 1997). Los frutos climatéricos pueden madurar en la planta o después de cosechados (Omboki *et al.*, 2015), el proceso de maduración consta de dos pasos: la madurez fisiológica, es cuando el fruto alcanza su máximo tamaño y mayor vigor de las semillas, esto dependiendo de la especie; y la madurez de consumo, es cuando se modifica el color a través del contenido de clorofilas, carotenoides y acumulación de flavonoides; la modificación de la textura, de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos volátiles, el sabor y el aroma del fruto; por último el aumento en la susceptibilidad al ataque de patógenos oportunistas (Dos santos *et al.*, 2015). El zapote negro es un fruto climatérico de coloración verdosa, cuyo mesocarpio cambia de amarillenta y consistencia firme a marrón-negro y consistencia gelatinosa al madurar (Silva *et al.*, 2010).

Crane y Balerdi, (2005) mencionan que el fruto de zapote negro contiene 12 semillas en promedio, sin embargo, en años recientes se han reportado frutos partenocárpicos (sin semillas) que agronómicamente representan una oportunidad de mercado. Por otra parte, los aspectos morfológicos de las plantas son usados para identificación de especies y estudios taxonómicos (Botelho *et al.*, 2000), la morfología del fruto, hoja y semilla son los más importantes para la identificación de especies en campo (Araujo *et al.*, 2004). Por ello es importante caracterizar morfológicamente ambos materiales de zapote negro, refiriéndose a frutos partenocárpicos y no partenocárpicos, y describir las fases de maduración de los frutos de esta especie. Por lo anterior el objetivo de este trabajo es describir las características morfológicas de frutos no partenocárpicos y partenocárpicos, y determinando las fases de maduración de zapote negro.

2.3. MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1. Localización del proyecto

El presente estudio se realizó en el Instituto Tecnológico de Conkal ubicado en Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán, C.P. 97345, específicamente en los laboratorios de Fisiología y Biotecnología Vegetal donde se midieron las variables morfológicas.

2.3.2. Colecta de material vegetal

Los frutos de zapote negro se colectaron en los municipios de Akil y Cholul siendo estos los municipios de Yucatán donde se encuentra cultivado el zapote negro según resultados de herbario del Centro de Investigación Científica de Yucatán. La colecta se realizó en los meses de septiembre-noviembre siendo estos meses de fructificación de la especie.

Se utilizaron 80 frutos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.) fisiológicamente maduros, estos se obtuvieron de cuatro plantas, de los cuales 40 frutos fueron partenocárpicos y 40 frutos no partenocárpicos.

2.3.3. Variables morfológicas

La caracterización morfológica se realizó como lo señala IPGRI, (2008) y Barroso *et al.* (1999), considerando las siguientes variables cualitativas y cuantitativas:

-Árbol: hábito de crecimiento de las plantas, hábito general del árbol en la etapa de madurez, porte bajo, copa del árbol, color del tronco, textura de la corteza, presencia de pubescencia en el tallo, ramificación del tronco, color de la rama joven y defoliación al final de la fructificación.

-Hoja: forma del limbo, borde, forma del ápice, color del haz, pubescencia en el haz, tipo de nervadura, forma de la base, color del envés, color del peciolo, largo, ancho, grosor, longitud y diámetro del peciolo.

-Flor: color exterior del pétalo, color de la base interna del pétalo, forma de la corola y color del sépalo.

-Fruto: forma, simetría, forma del ápice, color de pericarpio y mesocarpio, tipo de pericarpio, textura del mesocarpio, oxidación de la pulpa, peso, longitud, diámetro, grosor del pericarpio y mesocarpio, longitud y diámetro del pedúnculo, sépalos persistentes.

Las variables cuantitativas se determinaron con diferentes instrumentos de medición, el peso se obtuvo con una báscula eléctrica portátil de la marca Optimus modelo Scout Pro, un vernier digital (300 mm) y una regla de metal.

Se utilizó un diseño completamente al azar con 40 repeticiones por material vegetativo y como criterio de selección fue que los frutos se encontraran en su madurez fisiológica. Se aplicó un análisis estadístico por medio de una prueba t-student utilizando el paquete estadístico de InfoStat versión 2017e.

2.3.4. Fases de maduración

Se determinaron cinco fases de maduración en los frutos de zapote negro, se consideraron el color del pericarpio, color del mesocarpio, firmeza (kg cm^{-2}) con un penetrómetro manual, este es uno de los equipos utilizados que contribuyen en determinar la etapa de maduración de un fruto y garantizar la vida de anaquel (Gunasekaran *et al.*, 2003). Para determinar el contenido de sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$) se utilizó refractómetro manual de 0-32 $^{\circ}\text{Brix}$, se colocó una gota de agua destilada en el cuadro del refractómetro para calibrarlo, después de calibrarlo se limpió y colocó una gota de la muestra, se enfocó el ocular hasta poder observar que una línea divide una porción clara y oscura (Yahia *et al.*, 2011).

2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La morfología de las plantas de frutos no partenocárpicos y partenocárpicos fueron similares, se encontraron las siguientes características: el color de tallo es negro con una textura de corteza estriada, tiene un hábito general en etapa adulta esparcido, un porte alto con forma de copa columnar ancha; el color de la rama joven de las plantas de zapote negro es verde olivo, no se presenta defoliación al final de la fructificación.

La hoja de zapote negro presenta un limbo oblongo con borde liso, el ápice de la hoja es agudo al igual que la base de la misma, el haz es de color verde oscuro y el envés de color verde olivo, el tipo de nervadura es alzada de color amarillo sin pubescencia en el haz y en el envés, el color del peciolo es verde amarillo. Se determinaron variables morfológicas cuantitativas para la hoja de esta especie (Cuadro 1). Lo anterior concuerda con Crane y Balerdi, (2005), que mencionan que las hojas de zapote negro son alternas, oblongas de color verde oscuro de 10 a 30 cm de largo.

Cuadro 1. Variables morfológicas de hojas de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.).

Variabes	Frutos no partenocárpicos	Frutos partenocárpicos
Longitud (cm)	14.60 ± 0.28 a	15.18 ± 0.38 a
Diámetro (cm)	5.00 ± 0.12 a	5.44 ± 0.13 a
Grosor (mm)	0.28 ± 0.00 b	0.31 ± 0.01 a
Longitud del peciolo (cm)	14.22 ± 0.38 a	15.95 ± 0.44 a
Diámetro del peciolo (cm)	2.53 ± 0.04 b	2.73 ± 0.04 a

Letras diferentes entre filas indican diferencias significativas entre tratamientos, los valores se expresan como media ± error estándar, ($p \leq 0.05$, $n=40$).

La flor del zapote negro presenta pétalos de color amarillo al igual que la base interna, tiene una forma de corola tubular y el sépalo es de color verde como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Características morfológicas de la flor de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.)

Se encontraron cuatro formas de fruto (Figura 1), para frutos no partenocárpicos se encontraron dos los cuales son cordiforme alargado y oval, en el caso de frutos partenocárpicos se encontraron dos formas de frutos: cordiforme y redonda. Los cuatro tipos de frutos presentan simetría, cuando el fruto se encuentra fisiológicamente maduro el pericarpio es de color verde-amarillo siendo este color un indicativo para poder cosechar la fruta, con pericarpio liso, el mesocarpio es de color amarillo claro cuando se encuentra fisiológicamente maduro y presenta oxidación a los cinco minutos, cuando se encuentra en su madurez apta para el consumo el mesocarpio se torna de color negro.

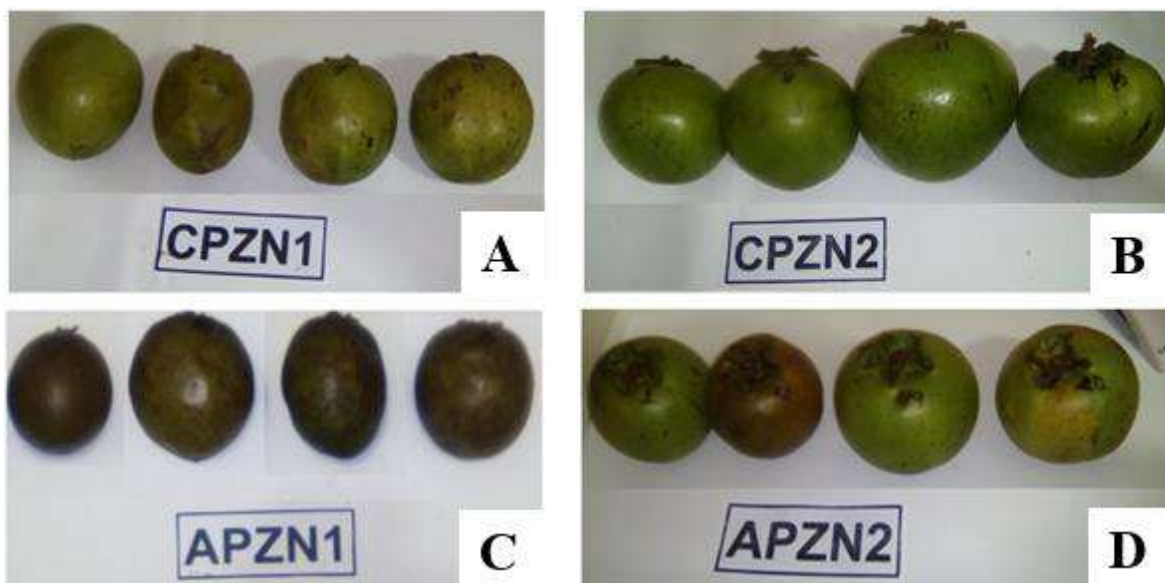


Figura 2. Forma de frutos de zapote negro A) Cordiforme alargado, B) cordiforme, C) oval y D) redonda.

Los frutos no partenocárpicos tienen un peso promedio de 318 g y los frutos partenocárpicos 470 g siendo esta una diferencia muy marcada entre ambos materiales al

igual presentan cuatro sépalos persistentes en promedio como se muestra en el cuadro 2. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Crane y Balerdi, (2005), para los frutos de zapote negro menciona que tienen un diámetro de 5 a 15 cm, con pericarpio de color verde olivo oscuro a verde brillante y un cáliz persistente, sin embargo, Silva *et al.*, (2010) mencionan que los frutos no partenocárpico de *Diospyros ebenaster* tienen en promedio un peso de 263 g, 8.8 cm de longitud y 8.6 cm de diámetro.

Cuadro 2. Variables morfológicas en frutos no partenocárpico (NPC) y partenocárpico (PC) de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.).

Variables	No partenocárpico		Partenocárpico	
Peso (g)	318.58 ± 11.61	b	470.32 ± 16.72	a
Longitud (mm)	99.29 ± 1.48	a	94.26 ± 1.27	a
Diámetro (mm)	85.32 ± 1.17	a	101.04 ± 1.20	a
Grosor del pericarpio (mm)	0.44 ± 0.01	a	0.44 ± 0.01	a
Grosor del mesocarpio(mm)	22.05 ± 0.58	a	28.17 ± 1.02	b
Longitud del pedúnculo (mm)	14.91 ± 0.30	a	11.03 ± 0.51	b
Diámetro del pedúnculo (mm)	4.78 ± 0.10	b	5.57 ± 0.19	a
N. Sépalos persistentes	4.73 ± 0.09	a	4.80 ± 0.11	a

Letras diferentes entre filas indican diferencias significativas entre frutos NPC y PC, los valores se expresan como media ± error estándar, (p=0.05, n=40).

Se determinaron cinco fases de maduración en frutos partenocárpico y no partenocárpico de zapote negro siendo similar para ambos materiales como se muestra en el cuadro 3. El color del pericarpio es una de las principales características para determinar las fases de maduración de esta especie al igual que el color del mesocarpio, Vaclavik, (2002) y Manrique, (2001) mencionan que la maduración de los frutos está generalmente acoplada a una modificación del color. La transición más habitual, de verde a otro color, está relacionada con una degradación de la clorofila, se produce además una importante síntesis de otros pigmentos.

Cuadro 3. Descripción de las fases de maduración del zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.).

Fase	DDC	Color del pericarpio	Color del mesocarpio	Firmeza (Kg cm ⁻²)	SST
1	1	Verde-amarillo	Amarillo claro	3.23 ± 0.30 a	14.92 ± 0.32 c
2	2	Verde-amarillo	Marrón	0.74 ± 0.05 b	16.16 ± 0.44 b
3	3	Verde con presencia de manchas negras	Marrón	0.48 ± 0.04 b	17.48 ± 0.25 a
4	4	Negro	Negro	0.26 ± 0.01 b	17.76 ± 0.09 a
5	5	Negro	Negro	0.25 ± 0 b	14.24 ± 0.02 c

DDC: Días después de la cosecha; SST = Sólidos solubles totales (°Brix).

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, los valores se expresan como media ± error estándar, Tukey ($p \leq 0.05$), $n=5$.

Por otro lado, los resultados obtenidos son similares a lo mencionado por Crane y Balerdi (2005), indican que las frutas inmaduras son duras con mesocarpio de color naranja amarillento, al madurar el mesocarpio se vuelve muy suave y se torna de color marrón a negro, similar a lo mencionado por Ledesma *et al.* (2001), mencionan que las frutas inmaduras de zapote negro tienen un color de pulpa amarillo-dorado y no son comestibles por su marcado sabor astringente; cuando madura, la pulpa se torna completamente suave y con un color café-negro característico.

Por su parte Morton, (1987) y Martin *et al.* (1987) mencionan que el fruto es una baya de forma globosa, cáliz persistente con 7 a 12 cm de diámetro, el epicarpio (cáscara) es de color verde brillante en la madurez fisiológica y se encuentra adherido a la pulpa; el mesocarpio (pulpa) es de color café a negro de consistencia suave, muy abundante y dulce cuando se encuentra en su madurez apta para el consumo. Yahia *et al.* (2011) reportan 179.97 g de peso para el zapote negro.

La firmeza fue reduciendo conforme la fase de maduración fue aumentando, los sólidos solubles expresados en °Brix aumentaron de 14.920 a 17.760 °Brix. Gunasekaran *et*

al. (2003) mencionan que la firmeza es una medida que se relaciona con el nivel de madurez en los frutos y puede estar influenciada por la variedad del producto, la región y condiciones de cultivo. Moo *et al.* (2014), reportan que el fruto de zapote negro tiene 22.33 °Brix de sólidos solubles totales siendo esta cantidad la más alta comparada con 18 especies cultivadas en el estado de Yucatán y Yahia *et al.* (2011) menciona que el zapote negro tiene 17.87 °Brix.

2.5. CONCLUSIONES

Referente a la morfología de las plantas de frutos NPC y PC no se encontraron diferencias a excepción del grosor de la hoja y diámetro del peciolo con 5 y 5.44 cm, y 2.53 y 2.73 cm de diámetro y grosor del peciolo respectivamente. Se encontraron 4 formas de frutos: cordiforme alargado y cordiforme para frutos NPC y oval y redondo en frutos PC. Los frutos PC tienen mayor peso (470.32 g), esto representa una oportunidad de mercado y un mayor potencial para aprovechamiento del mesocarpio.

Las fases de maduración del zapote negro es aporte importante para determinar el punto óptimo de cosecha el cual es cuando el fruto se torna de color verde amarillento (fase 1), y la fase de maduración apta para el consumo es la fase cuatro.

2.6. LITERATURA CITADA

- Araújo, E. C., V. R. Mendonça A., G. Barroso D., R. Lamônica K., y F. Silva R. 2004. Caracterização morfológica de frutos, sementes e plântulas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Revista Brasileira de Sementes* 26:104-109.
- Barroso, G. M., Morim M. P., Peixoto A. L., Ichaso C. L. F. 1999. Frutos e sementes: morfología aplicada a sistemática de dicotiledóneas. UFV, Vicoso, Brasil. 443 p.
- Botelho, S. A., Ferreira, R. A., Malavasi, M. M., Davide, A. C. 2000. Aspectos morfológicos de frutos, sementes, plântulas e mudas de Jatobádo-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart. Ex Hayne) – Fabaceae. *Revista brasileira de sementes* 22: 144-152.
- Crane, J. H., y C. Balerdi. 2005. "Black Sapote Growing in the Florida Home Garden". Obtenido de [growables.com](https://www.growables.com) Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida: <https://www.growables.org/information/TropicalFruit/BlackSapote.htm>
- Dos Santos, R. S.; Arge, L. W. P.; Costa, S. I.; Machado, N. D.; de Mello- Farias, P. C.; Rombaldi, C. V. and de Oliveira, A. C. 2015. Genetic regulation and the impact of omics in fruit ripening. *Plant Omics*. 8(2):78-88.
- Donadio, L. C., Nachtigal, J. C., Sacramento, C. K. 1998. Frutas exóticas. FUNEP, Jaboticabal, Brasil. 279 p.
- Gunasekaran, S., Mehmet M. 2003. Cheese Rheology and Texture. CRC Press. Boca Raton.
- Ledesma, N., Campbell J. 2001. Reseña histórica, cultivares y propagación del zapote prieto (*Diospyros digyna* Jacq.) en el Sur de la florida. *Proc. Interamer. Hortl*, 45: 12-14.
- Lelièvre, J. M.; Latché, A.; Jones, B.; Bouzayen, M. and Pech, J. C. 1997. Ethylene and fruit ripening. *Physiol. Plantarum*. 101: 727-739.
- Martín, F., C. W. Campbell y R. M. Ruberté. 1987. Perennial Edible Fruits of the Tropics. An inventory. Agricultural Research Service. USDA. Agriculture Handbook No. 642.

- Moo, H. Victor M., Estrada M. Ivan, Estrada L. Raciél, Cuevas G. Luis, Ortiz V. Elizabeth, Vargas y V. Maria de L., Betancur A. David, Sauri D. Enrique. 2014. Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry* 152: 508–515
- Morton, J. F. 1987. *Fruits of Warm Climates*, Publ. Miami, Fl. U.S.A. pp: 416-418.
- Manrique, K. K. 2001. *Nociones del Manejo de Post-Cosecha*. Departamento, de Mejoramiento y Recursos Genéticos. Centro Internacional de la Papa
- Niembro, A., Vázquez M., y Sánchez O. 2010. *Arboles de Veracruz 100 especies para la reforestación estratégica*. Secretaria de Educación. Gobierno del estado de Veracruz. Xalapa, Veracruz
- Omboki, R. B.; Wu, W.; Xie, X. and Mamadou, G. 2015. Ripening genetics of the tomato fruit. *Inter. J. Agric. Crop Sci.* 8(4):567-572.
- SIAP. 2017. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo “Modalidad riego+temporal”. SAGARPA, D. F., México. Disponible: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (consulta febrero 06, 2019)
- Silva, C. R., I. V. De Morais O., F. Vitti M., A. B. Geraldo M. 2010. Caracterização morfológica do fruto, semente e morfofunção de plântulas de sapoteira-preta (*Diospyros ebenaster* Retz.). *Comunicata Scientiae*. 1: 9-14.
- Vaclavik, V. 2002. *Fundamentos de ciencia de los alimentos*. Editorial Acribia S. A. Pp.99 - 129.
- Yahia, E. M., Gutierrez-Orozco, F. y Arvizu-de Leon, C. 2011. Phytochemical and antioxidant characterization of the fruit of black sapote (*Diospyros digyna* Jacq.). *Food Research International*, 44, 2210–2216.

III. CAPÍTULO 3.

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO, FITOQUÍMICO Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE FRUTOS DE ZAPOTE NEGRO (*Diospyros digyna* Jacq.)

Cindy Neftaly Navarrete Zapata¹, Eduardo Villanueva Couoh¹, Daniel Eduviges Cituk Chan¹, Luis Leonardo Pinzón López¹ y Kati Beatriz Medina Dzul¹

Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Conkal / División de Estudios de Posgrado e Investigación, Avenida Tecnológico S/N Conkal, Yucatán, México. C.P.

97345

3.1. RESUMEN Y ABSTRACT

En años recientes las enfermedades crónicas y cardiovasculares han aumentado, una de las causas es la mala alimentación, por ello el consumo de frutas tropicales ha ido en aumento gracias a su valor nutricional y terapéutico. Los fitoquímicos y la capacidad antioxidante beneficia la salud ya que son asociadas al decremento de contraer enfermedades degenerativas, dichos fitoquímicos son los fenoles, antocianinas, flavonoides y carotenoides entre otros. El zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.) tiene un gran contenido de fitoquímicos reportados en estudios recientes, y se conocen frutos de zapote negro que pueden ser no partenocárpicos o partenocárpicos sin determinar si existen diferencias fitoquímicas en sus frutos, por ello el objetivo del presente trabajo es la caracterización bromatológica y fitoquímica de frutos no partenocárpicos (NPC) y partenocárpicos (PC) de zapote negro. La colecta de los frutos se realizó en octubre de 2018 en el estado de Yucatán, para los aspectos bromatológicos se analizó humedad, cenizas, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda, elementos libres de nitrógeno y minerales (potasio, sodio, calcio, magnesio, zinc, fosforo, hierro). Se encontraron diferencias significativas para fibra y grasa cruda, donde los frutos no partenocárpicos son los que tuvieron mayor cantidad de fibra cruda (5.35 %) y los frutos partenocárpicos mayor contenido de grasa cruda (0.70 %), sin embargo, las determinaciones de minerales indican que los frutos PC tienen mayor contenido de potasio (13496 ppm) que los NPC. En los resultados de la determinación fitoquímica no se encontraron diferencias significativas para fenoles 100.12 y 102.67 mg 100⁻¹, antocianinas 2.08 y 0.95 mg 100⁻¹, flavonoides 1777.72 y 1586.81 mg 100⁻¹ y carotenoides 3.02 y 2.24 mg 100⁻¹ para frutos no

partenocárpico y partenocárpico respectivamente) al igual que la determinación de capacidad antioxidante por medio de los ensayos DPPH y ABTS.

Palabras clave: fitoquímicos, bromatológicos, partenocárpico.

ABSTRACT

In recent years, chronic and cardiovascular diseases have increased, one of the causes is poor diet, so the consumption of tropical fruits has been increasing thanks to its nutritional and therapeutic value. Phytochemicals and antioxidant capacity benefits health as they are associated with the decrease in contracting degenerative diseases, such phytochemicals are phenols, anthocyanins, flavonoids and carotenoids among others. Black zapote (*Diospyros digyna* Jacq.) Has a high content of phytochemicals reported in recent studies, and black zapote fruits are known that may be nonparthenocarpic or parthenocarpic without determining whether phytochemical differences exist in their fruits, hence the objective of the present work is the bromatological and phytochemical characterization of nonparthenocarpic (NPC) and parthenocarpic (PC) fruits of black zapote. The fruit collection was carried out in October 2018 in the state of Yucatán, for the bromatological aspects were analyzed moisture, ash, crude protein, crude fat, crude fiber, nitrogen-free elements and minerals (potassium, sodium, calcium, magnesium, zinc, phosphorus, iron). Significant differences were found for fiber and raw fat, where the nonparthenocarpic fruits are those that had the highest amount of raw fiber (5.35%) and the parthenocarpic fruits with the highest crude fat content (0.70 %), however, mineral determinations indicate that PC fruits have a higher potassium content (13496 ppm) than NPC. In the results of the phytochemical determination no significant differences were found for phenols 100.12 and 102.67 mg 100⁻¹, anthocyanins 2.08 and 0.95 mg 100⁻¹, flavonoids 1777.72 and 1586.81 mg 100⁻¹ and carotenoids 3.02 and 2.24 mg 100⁻¹ for fruits nonparthenocarpic and parthenocarpic respectively) as well as the determination of antioxidant capacity by means of the DPPH and ABTS assays.

Keywords: phytochemical, bromatological, parthenocarpic.

3.2. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se incrementó el desarrollo de enfermedades crónicas como el cáncer, la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y la hipertensión, esto se debe a la dieta y estilo de vida de las personas (Yahia, 2010), por ello en la actualidad ha aumentado el consumo de frutas tropicales y subtropicales debido al valor nutricional y terapéutico que estas tienen. Las frutas tropicales y subtropicales son fuentes importantes de diversos fitoquímicos con capacidad antioxidante que pueden beneficiar a la salud. Los fenoles, flavonoides, carotenoides y antocianinas son las cuatro familias de fitoquímicos asociadas al decremento de contraer enfermedades crónicas y cardiovasculares, dichos fitoquímicos predominan en frutas tropicales y subtropicales (Yahia, 2010; Cardoso *et al.*, 2011).

Yahia *et al.* (2011), caracterizaron física y químicamente el fruto de *Diospyros digyna* Jacq. provenientes del estado de Querétaro midiendo el peso, el contenido de sólidos solubles (17.87 °Brix), encontró compuestos fenólicos en el mesocarpio del fruto entre los cuales están ácido sinapico, miricetina, ácido ferúlico y catequina; carotenoides como β -caroteno y luteína, la capacidad antioxidante con el ensayo DPPH (2,2'-difetil-1-picrilhidrazilo). Moo *et al.* (2014) mencionan que el zapote negro tiene una humedad de 75.72 %, cuatro familias de fitoquímicos dando como resultado 158.48 mg de fenoles, 376.04 mg de flavonoides, 14.19 mg de antocianinas, 7.99 mg de carotenoides totales en 100 g de peso fresco y la capacidad antioxidante por los ensayos de DPPH (2,20-difenil-1-picrilhidrazilo) y ABTS (2,20-Azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico).

Baltacıoğlu y Artik, (2013) realizaron un estudio con 6 variedades de *Diospyros kaki* especie perteneciente a la familia de las ebenáceas al igual que *Diospyros digyna*, encontraron que la variedad 07 TH 13 es la que presenta mayor cantidad de sólidos solubles (21.2 °brix) al igual que las cenizas con 0.47 %, la variedad morali presentó mayor porcentaje de humedad (83.1 %) y proteína (0.59 %), la variedad türkay obtuvo el mayor contenido de grasas totales con 0.07 %.

Diospyros digyna Jacq. pertenece a la familia de las Ebenáceas recibe nombres comunes como zapote negro y taúch en lengua maya (Crane y Balerdi, 2005). Esta especie es originaria de México y Centroamérica, en el 2017 para México se reportan 70.80 ha sembradas con una producción de 420.55 toneladas con un valor de producción \$883,030

(SIAP, 2017). Crane y Balerdi (2005) mencionan que los frutos de zapote negro contienen de 0 a 12 semillas, los frutos que contienen semillas son llamados no partenocárpico (NPC) y frutos sin semilla denominados frutos partenocárpico (PC).

A pesar de ser una especie nativa de México es muy escasa la información relacionada con estudios bromatológicos y fitoquímicos que predominan en los frutos partenocárpico y no partenocárpico de *Diospyros digyna*, sin embargo, los trabajos realizados en esta especie no especifican cual es la planta de la cual provienen los frutos analizados y tampoco mencionan si eran frutos partenocárpico (PC) y no partenocárpico (NPC). De aquí la importancia de realizar el estudio que permita obtener información bromatológica y fitoquímica de dos materiales vegetales refiriéndose a frutos PC y NPC de zapote negro identificados en el estado de Yucatán.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1. Muestras

Se colectaron frutos PC y NPC de zapote negro en el estado de Yucatán, se seleccionaron aquellos frutos que no presentaran daños físicos. Se congelaron 4 kg de mesocarpio de ambos materiales en fase 4 de maduración (maduración de consumo) a -20 °C como lo señala Moo *et al.* (2014), para realizar las determinaciones de fenoles, flavonoides, antocianinas, carotenoides y actividad antioxidante se liofilizaron las muestras en el equipo de la marca LABCONCO freezone 2.5. La determinación de proteína, grasa, fibra cruda y minerales se realizó con muestras a base seca, para ello se introdujeron a la estufa de desecación por cuatro horas a 105 °C, se dejó enfriar y se molieron en el mini molino de corte modelo 3383-L10.

3.3.2. Análisis bromatológicos

El análisis bromatológico da a conocer los nutrientes que contienen los alimentos como: grasa, carbohidratos, proteínas, agua y minerales (Fox *et al.*, 1992). Los análisis bromatológicos se realizaron en frutos de zapote negro en la fase cuatro de maduración, se determinó:

a) Humedad: la metodología utilizada fue por desecación en estufa descrito por la AOAC (1995), se introducen crisoles previamente lavados y secos a una estufa de desecación durante dos horas a 105 °C (peso constante), se dejaron enfriar en una campana de desecación a temperatura ambiente y se registraron los pesos. Seguidamente se pesó 1 g de muestra fresca en los crisoles a peso constante, los crisoles con las muestras se mantuvieron en una estufa a 105 °C durante dos horas, retirados y colocados en una cámara de desecación hasta llegar a temperatura ambiente, se registraron los pesos. Para calcular el porcentaje de humedad se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{(P2 - P1)}{P} \times 100$$

En donde:

P1= peso del crisol más muestra después de la estufa (g).

P2= peso del crisol con la muestra fresca (g).

P= peso de la muestra húmeda (g).

b) Cenizas: para esto se calcinó en mufla, en crisoles de porcelana a peso constante se introdujo 1 g de muestra aproximadamente, para este trabajo se utilizó la muestra empleada para determinar humedad, se introdujeron dichos crisoles a la mufla por cuatro horas a 600 °C, se dejaron enfriar los crisoles con la muestra en la mufla, se mantuvieron en una cámara de desecación para enfriar y se pesaron en una balanza eléctrica. La fórmula para calcular el porcentaje de cenizas es la siguiente:

$$\text{Porcentaje de cenizas} = \frac{(W2 - W1)}{W} \times 100$$

En donde:

W1= peso del crisol más muestra después de la mufla (g).

W2= peso del crisol con muestra seca (g).

W= peso de la muestra seca (g).

c) Proteína cruda: se determinó por el método de Kjeldahl, se pesó 0.5 g de muestra a base seca y 1 g de selenio, se introdujeron en un tubo de digestión de 300 mL. Se agregaron 15 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0.1 N lentamente por las paredes del tubo, de igual forma se consideró un blanco que consta de 1 g de selenio. Posteriormente se colocaron los tubos en el digestor, se calentaron gradualmente (100, 200, 300 y 400 °C 30 min cada temperatura) hasta que la solución se tornó transparente, transcurrido el tiempo se dejaron enfriar y las soluciones se destilaron. En un matraz Erlenmeyer de 250 mL se añadieron 35 mL de ácido bórico esto para cada muestra, se introdujo el tubo en el destilador, se le agrego 70 mL de hidróxido de sodio al 32 % (NaOH), se inició el calentamiento y se colectó 150 mL del destilado en el matraz Erlenmeyer de 250 mL con el ácido bórico. Se retiró el matraz y el tubo con la muestra, el matraz se tituló con ácido sulfúrico 0.1 N registró el gasto por muestra. El cálculo de proteína cruda se realizó con la siguiente fórmula:

$$\text{Nitrógeno total} = \frac{(G - B)(0.014)(N)}{m} \times 100$$

En donde:

G= gasto en ml de ácido sulfúrico en la titulación de la muestra.

B=gasto en ml ácido sulfúrico en la titulación del blanco.

0.014= mili equivalente de nitrógeno.

N= normalidad del ácido sulfúrico

m= gramos de la muestra.

La estimación del contenido de proteína cruda se realizó multiplicando el porcentaje de nitrógeno total obtenido por 6.25 (factor de conversión, indica que cada unidad de nitrógeno contiene 6.25 unidades de proteína).

d) Grasa cruda: la determinación de grasa cruda se realizó con la metodología de Soxhlet descrito por la AOAC (1995). Un gramo de muestra a base seca se introdujo en un cartucho o dedal para extracción. Se utilizó un soporte universal, con la ayuda de pinzas se sostiene el sifón Soxhlet, se coloca el cartucho con la muestra dentro del sifón. Posteriormente, al matraz del equipo, previamente llevado y a peso constante, se le agregaron 150 mL de hexano, el matraz fue colocado en el equipo Soxhlet y se inició el calentamiento. La extracción se llevó a cabo durante 4 horas, después de dicho tiempo se evaporó el hexano contenido en el matraz, se secó en una estufa por 2 h a 105 °C, para llevarlo después a un desecador y pesarlo. El contenido de grasa presente en la muestra fue calculado con la siguiente fórmula:

$$\text{Grasa cruda} = \frac{(M2 - M1)}{M} \times 100$$

En donde:

M1= peso del matraz (g).

M2= peso del matraz con la grasa (g).

M= peso de la muestra seca (g).

e) Fibra cruda: se realizó por la técnica de la bolsa de papel filtro con modificaciones, se pesó 1 g de muestra a base seca en placas de plástico, la muestra se depositó en un matraz Erlenmeyer de 500 mL al igual que 100 ml de ácido sulfúrico al 0.255 N y 3 esferas de vidrio, seguidamente dicho matraz se calentó en una placa a 100 °C por 30 min; es importante señalar que se utilizó un soporte con enfriador de serpentín para evitar que la mezcla se perdiera. La mezcla caliente se filtró a vacío y enjuago hasta llegar a un pH de 7. Para el filtrado se utilizaron filtros de vidrio Buchner de 25 mL a peso constante, la muestra sobrante se retiró del filtro y se introdujo en el matraz Erlenmeyer con 100 mL de hidróxido de sodio (0.313 N), el matraz se colocó en la placa de calentamiento a 100 °C por 30 min, se filtró y enjuago hasta llegar a un pH de 7. Los filtros se introdujeron a una estufa de desecación a 105 °C por 24 h. Para calcular el porcentaje de fibra cruda se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Fibra cruda} = \frac{(PF - PC)}{PM} \times 100$$

En donde:

PF= peso del filtro más muestra (g).

PC= peso del filtro (g).

PM= peso de la muestra (g).

f) Elementos libres de nitrógeno (ELN): los ELN se calcularon con la siguiente fórmula:

$$\text{ELN} = 100 - (C + P + G + F)$$

En donde:

C= cenizas totales.

P= proteína cruda.

G= grasa cruda.

F= fibra cruda

Para la determinación de ELN no se consideró el valor de la humedad ya que las determinaciones bromatológicas se realizaron con muestras a base seca.

g) Minerales: la determinación de minerales se realizó por absorción atómica; primero se pesó el crisol limpio y seco, seguidamente se pesó un gramo de muestra en dicho crisol, se introdujo en una mufla a 500 °C por dos horas, se dejó enfriar en la mufla y la muestra se enfrió en una campana de desecación. Se agregaron 4 ml de ácido nítrico, y se calentó en una placa de calentamiento a 100 °C hasta evaporar el exceso de ácido, después se introdujeron de nuevo a la mufla por una hora a 500 °C; una vez que se enfrió a temperatura ambiente, se le adicionaron 10 mL de ácido clorhídrico y se filtró (papel filtro # 42) depositando la muestra filtrada a un matraz volumétrico que contenía 10 mL de lantano al 5 %. La lectura de las muestras se realizó en el espectrómetro de absorción atómica GBC 932 Plus.

3.3.3. Determinación de fitoquímicos

Para la determinación de fenoles, antocianinas y flavonoides se utilizó extracto metanólico. Se pesaron 0.5 g de muestra liofilizada, se depositaron en un tubo de ensayo con tapa adicionándole 10 mL de metanol al 80 %. La mezcla se sometió a baño ultrasónico 15 min, después se centrifugó a 6000 rpm por 10 min a temperatura ambiente, el extracto se almacenó a 20 °C hasta su análisis.

a) Fenoles totales: se determinaron por el método descrito por Singleton y Rossi (1965). Se mezclaron a temperatura ambiente 1 mL de extracto metanólico, 0.5 mL de agua deionizada, 0.25 ml de folin Folin-Ciocalteu 1N (se espera 15 segundos), 0.25 mL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 20 %, la mezcla se agitó en un vortex Mixer y se dejó reposar por 40 min. La lectura se realizó en el espectrofotómetro UV-Vis UV 2800 PC a 765 nm. La concentración de los fenoles totales se calculó utilizando una curva de ácido gálico de 25-200 ppm y expresado en mg de fenoles equivalentes a ácido gálico en 100 g de muestra seca.

b) Flavonoides totales: la determinación de flavonoides se realizó con la metodología descrita por Chang *et al.* (2002), se mezcló 0.5 ml de extracto metanólico con 1.5 ml de etanol

al 95 %, 0.1 ml de cloruro de aluminio (AlCl_3) al 10 %, 0.1 ml de acetato de potasio 1 M y 2.8 ml de agua desionizada. Después la mezcla se incubó 30 min a temperatura ambiente. La lectura se realizó en el espectrofotómetro UV-Vis UV 2800 PC a 415 nm. La concentración de flavonoides totales se calculó utilizando una curva de quercetina (10-300 ppm), los resultados se expresaron como mg de flavonoides equivalentes a quercetina en 100 g de muestra seca.

c) Carotenoides totales: la determinación de carotenoides se realizó con la metodología descrita por Chen *et al.* (2004). Se mezclaron 1 g de muestra liofilizada con 50 mL de hexano-acetona-etanol (70:15:15 refiriéndose a volumen) que contenía BHT al 0.05 %, la mezcla se agitó durante 1 h en un agitador orbital. Después, se agregaron 5 mL de hidróxido de potasio (KOH) al 40 % y se saponificó a temperatura ambiente en oscuridad durante 2 h. Seguidamente, se agregaron 30 mL de hexano a la mezcla y se agitó vigorosamente, después se recogió la capa superior, lo anterior se realizó por decantación, la muestra colectada se filtró a través de polvo de sulfato de sodio al vacío para eliminar trazas de agua. El contenido total de carotenoides se determinó espectrofotométricamente a 450 nm en un espectrofotómetro UV-Vis UV 2800 PC. La determinación de carotenoides totales se calculó utilizando una curva de β -caroteno (0.25–10 ppm) en hexano como estándar y hexano como blanco. Los resultados se expresaron como mg de carotenoides equivalentes a β -caroteno en 100 g de muestra seca.

d) Antocianinas totales: se realizó con la metodología de pH diferencial descrita por Giusti y Wrolstad (2001), se utilizaron dos buffers: cloruro de potasio (KCl) con pH 1.0, y acetato de sodio (CH_3COONa) con pH 4.5. Se colocaron 200 μL de extracto metanólico en dos tubos de ensayo: en el primer tubo se adicionó 1.8 mL del buffer pH 1.0 y en el segundo tubo se adicionó 1.8 mL de buffer pH 4.5. La absorbancia de las mezclas se midió a longitudes de onda de 510 y 700 nm usando un espectrofotómetro UV-Vis UV 2800 PC. La absorbancia total de la muestra (A_t) se calculó con la siguiente formula:

$$A_t = [(A_{510} - A_{700})_{pH = 1.0}] - [(A_{510} - A_{700})_{pH = 4.5}]$$

La concentración de antocianinas totales se calculó con la siguiente formula:

$$\text{Antocianinas} = \frac{(\text{At} * \text{PM} * \text{FD} * 1000)}{(\text{E} * \text{l})}$$

Donde:

At= absorbancia total.

PM= peso molecular (449.2 g mol⁻¹) de Cianidina-3-glucósido.

FD = factor de dilución

1000 = conversión de g a mg.

l= ancho de la celda en cm

E= absortividad molar del estándar (26,900).

Los resultados se expresaron en mg de antocianinas equivalentes a cianina-3-glucósido en 100 g de muestra seca.

3.3.4. Capacidad antioxidante.

La capacidad antioxidante se determinó por los métodos más usados (DPPH y ABTS) que se describen a continuación:

a) El ensayo de DPPH (2,20-difenil-1-picrilhidrazilo): el ensayo DPPH se realizó con la metodología descrita por Kuskoski *et al.* (2005). Se preparó una solución del radical DPPH a una concentración de 100 µM en metanol al 80 %, en un tubo de ensayo de 50 mL se introdujo 0.1 mL de extracto metanólico y 3.9 mL de la solución DPPH, la mezcla se homogenizó en vortex a temperatura ambiente, se dejó reposar en obscuridad y se midió la absorbancia en el espectrofotómetro UV-Vis UV 2800 PC a 517 nm después de 30 y 60 min. La concentración de DPPH se calculó a partir de una curva de calibración de trolox (100-800 ppm) a dos tiempos (30-60 min). Los resultados se expresaron en mg de DPPH equivalentes a trolox en 100 g de muestra seca.

b) El ensayo ABTS (2,2'-Azino-bis (3-etil benzotiazolin)-6-sulfonato de amonio): se realizó con la metodología descrita por Re *et al.* (1999), se agregaron 0.0066 g de persulfato

de potasio ($K_2S_2O_4$) a una solución de 10 mL (7 mM) de ABTS obteniendo una concentración de 2.45 mM, la mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente en obscuridad por 16 h. Seguidamente en un tubo de ensayo se introdujo 1 ml de la solución ABTS y se le agregó el volumen necesario de etanol hasta obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.1 a una longitud de onda de 734 nm.

Después se tomó 1 mL de la solución ABTS estable y se le adicionaron 10 μ L de extracto metanólico, la mezcla se dejó reposar en obscuridad por 7 min, por último, se realizó la lectura en el espectrofotómetro UV-Vis UV 2800 PC a una longitud de onda de 734 nm. Para la determinación de la capacidad antioxidante por el ensayo ABTS se utilizó una curva estándar a base de trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) de 10 a 50 ppm. El porcentaje de inhibición del radical ABTS se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Inhibición} = \frac{(AI - AF)}{(AI)} * 100$$

Donde:

AI: absorbancia inicial del radical ABTS.

AF: absorbancia final de la reacción con la muestra.

Los resultados se expresaron como mg de ABTS equivalentes Trolox en 100 g de peso seco.

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis bromatológicos realizados en frutos no partenocárpico y partenocárpico de zapote negro (Cuadro 4), presentan un 80.62 % y 79.86 % de humedad respectivamente, esto concuerda con lo reportado por Morton (1987) que menciona que la humedad del zapote negro es de 79.46 a 83.1 %, sin embargo, Moo *et al.* (2014) reportan 75.72 ± 0.45 % de humedad para el zapote negro. De igual forma se determinó que los frutos de zapote negro tienen 0.85 % y 1.26 % de cenizas, 2.24 % y 2.03 % de proteína, 0.48 % y 0.70 % de grasa, 5.35 % y 4.02 % de fibra y 91.09 % y 91.99 % de elementos libres de nitrógeno en frutos no partenocárpico y partenocárpico respectivamente. Morton (1987) indica que el zapote negro presenta 0.37-0.6 % de cenizas, 0.62-0.69 % de proteína, 0.01 % de grasa y 12.85-15.11 % de ELN. El análisis estadístico permitió determinar que los frutos no partenocárpico tienen mayor porcentaje de fibra a comparación con los frutos partenocárpico, sin embargo, los frutos partenocárpico mostraron mayor contenido de grasas.

Cuadro 4. Análisis bromatológicos de frutos no partenocárpico y partenocárpico de zapote negro.

Constituyente	Porcentaje (%)			
	NPC		PC	
Humedad	80.62	a	79.86	a
Cenizas	0.85	a	1.26	a
Proteína cruda	2.24	a	2.03	a
Grasa cruda	0.48	b	0.70	a
Fibra cruda	5.35	a	4.02	b
ELN	91.09	a	91.99	a

ELN: elementos libres de nitrógeno.

NPC: frutos no partenocárpico.

PC: frutos partenocárpico.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, los valores se expresan como media \pm error estándar, ($p \leq 0.05$), $n=3$.

Los minerales predominantes en frutos de zapote negro son: potasio, sodio, calcio, magnesio, zinc, fósforo y hierro. El mineral predominante es el potasio con 12,329.9 ppm y 13,496 ppm para frutos NPC y PC de zapote negro, sin embargo, en el análisis estadístico no

se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el contenido mineral de frutos NPC y PC de zapote negro a excepción del potasio donde los frutos PC son los que tienen un mayor contenido (Cuadro 5). Los resultados obtenidos no concuerdan con lo reportado por Morton (1987), que menciona que el zapote negro contiene 22.0 mg de calcio, 23.0 mg de fósforo y 0.36 mg de hierro en 100 g de muestra fresca.

Cuadro 5. Minerales totales presentes en frutos partenocárpicos y no partenocárpicos de zapote negro.

Mineral (ppm)	NPC		PC	
Potasio	12329.92	± 409.75	b	13496.02 ± 943.81 a
Sodio	372.52	± 47.53	a	319.09 ± 58.43 a
Calcio	1903.60	± 112.35	a	1557.14 ± 80.24 a
Magnesio	386.35	± 24.45	a	389.33 ± 24.65 a
Zinc	7.93	± 2.07	a	9.20 ± 2.78 a
Fósforo	510.94	± 122.50	a	589.87 ± 145.67 a
Hierro	65.32	± 7.85	a	60.03 ± 9.89 a

NPC: frutos no partenocárpicos.

PC: frutos partenocárpicos

ppm: partes por millón.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, los valores se expresan como media ± error estándar, ($p \leq 0.05$), $n=3$.

Por otra parte, en el zapote negro predominan cuatro familias de fitoquímicos los fenoles, las antocianinas, los flavonoides y los carotenoides. Los compuestos fenólicos poseen importancia por su influencia en el sabor de las frutas, la condensación de los catecoles a taninos provoca la aparición del sabor amargo y astringente (Vaclavik, 2002), de igual forma tienen un alto potencial antioxidante. Las antocianinas tienen propiedades farmacológicas y terapéuticas (Garzón, 2008), al igual que los flavonoides (Yao., 2004) y carotenoides (Rufino *et al.*, 2010).

No se encontraron diferencias significativas entre los frutos NPC y PC (Cuadro 6), sin embargo, los resultados obtenidos quedan por encima de lo reportado por Moo *et al.* (2014), quienes mencionan que los frutos de zapote negro contienen 158.48 mg de fenoles equivalentes a ácido gálico sobre 100 g de muestra fresca, 14.19 mg de antocianinas totales en 100 g de muestra fresca, 376.04 mg de flavonoides equivalentes a quercetina sobre 100 g de muestra fresca, 7.99 mg de carotenoides equivalentes a β -caroteno en 100 g de muestra

fresca. Yahia *et al.* (2011) reportan 247.816 mg de fenoles equivalentes a ácido gálico en 100 g de muestra fresca, 399.409 µg de carotenoides equivalentes a β-caroteno en 100 g de muestra fresca.

Cuadro 6. Fitoquímicos predominantes en frutos partenocárpicos y no partenocárpicos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.).

Fitoquímico (mg 100 g ⁻¹)	NPC		PC	
Fenoles	100.12 ± 2.45	a	102.67 ± 1.96	a
Antocianinas	2.08 ± 1.08	a	0.95 ± 0.28	a
Flavonoides	1777.72 ± 162.80	a	1586.81 ± 138.18	a
Carotenoides	3.02 ± 0.25	a	2.24 ± 0.37	a

NPC: frutos no partenocárpicos.

PC: frutos partenocárpicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, los valores se expresan como media ± error estándar, (p≤0.05), n=3.

En los ensayos de capacidad antioxidante realizados en este estudio no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 7). Los datos obtenidos quedan por debajo con lo reportado por Moo *et al.* (2014) que mencionan que el zapote negro contiene 559.78 µM de ABTS en 100 g de muestra fresca y 118.44 78 µM de ABTS en 100 g de muestra fresca.

Cuadro 7. Capacidad antioxidante de frutos partenocárpicos y no partenocárpicos de zapote negro.

Frutos	DPPH (µM 100 g ⁻¹)		ABTS (mM 100 g ⁻¹)
	30 min	60 min	
NPC	27.86 ± 2.99 a	388.92 ± 29.66 a	131.79 ± 1.40 a
PC	29.14 ± 3.35 a	403.03 ± 31.27 a	129.56 ± 1.07 a

NPC: frutos no partenocárpicos; PC: frutos partenocárpicos; DPPH: 2,20-difenil-1-picrilhidrazilo; ABTS: 2,2'-Azino-bis (3-etil benzotiazolin)-6-sulfonato de amonio; µM: micromolar; mM: milimolar.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, los valores se expresan como media ± error estándar, (p≤0.05), n=3.

Es importante señalar que las características bromatológicas y fitoquímicas que presentaron los frutos depende del manejo del cultivo y las condiciones ambientales de la región, por ello el suministro de agua a la planta es el factor principal que interviene en el desarrollo fisiológico del fruto, lo cual determina la calidad del fruto cosechado (Colauto *et al.*, 2006).

3.5. CONCLUSIONES

El zapote negro es una especie que presenta un alto contenido de compuestos fitoquímicos con potencial bromatológico, mineral y capacidad antioxidante, donde los frutos partenocárpicos de esta especie presentaron mayor potencial para el aprovechamiento nutricional y farmacéutico en comparación con los frutos no partenocárpicos.

3.6. LITERATURA CITADA

- AOAC, Association of Official Analytical Chemists (1995). Vitamin C (Ascorbic acid) in vitamin preparations and juices. 2,6-Dichloroindophenol titrimetric method. Procedure No. 967.21. In AOAC official methods of analysis, pp. 1058–1059). Arlington, VA: Association of the Official Analytical Chemists.
- Baltacioglu, Handen y Artik Nevzat. 2013. Study of postharvest changes in the chemical composition of persimmon by HPLC. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 37:568-574.
- Cardoso, L. M., Martino, H. S. D., Moreita, A. V. B., Ribeiro, S. M. R., & Santana, H. M. P. (2011). Cagaita (*eugenia dysenterica* DC.) of the Cerrado of Minas Gerais, Brazil: Physical and chemical characterization, carotenoids and vitamins. Food Research International, 44, 2151–2154.
- Chang, C., M. Yang, H. Wen, and J. Chern. 2002. Estimation of total flavonoids content in propolis by two complementary colorimetric methods. J. Food Drug Anal. 10: 176-182.
- Chen, J. P., Tai, C. Y., & Chen, B. H. (2004). Improved liquid chromatographic method for determination of carotenoids in Taiwanese mango (*Mangifera indica* L.). Journal of Chromatography A, 1054, 261–268.
- Colauto, N., Vieira C., Marur C., Dos Santos M. Gomes J. 2006. Maturation curves and degreedays accumulation for fruits of 'Folha Murcha' orange trees. Scientia Agrícola, 63(3):31-36.
- Crane, Jonathan H. y Balerdi, Carlos. 2005. "Black Sapote Growing in the Florida Home Garden". *edis.ifas.ufl.edu*. This document is HS1055, one of a series of the Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Reviewed Nov.2009 and July 2013. Web. 16 Dec. 2014.
- Fox, B., Cameron A. 1992. Ciencia de los alimentos, Nutrición y Salud. México, Limusa.
- Garzón, G. A. (2008). Anthocyanins as natural colorants and bioactive compounds. A review. Acta Biológica Colombiana, 13, 27–36.

- Giusti, M. and R. Wrolstad. 2001. Anthocyanins. characterization and measurement with UV-visible spectroscopy. Unit F1.2. In: Wrolstad, R. and S. Schwartz (eds.). Current protocols in food analytical chemistry. John Wiley and Sons, Inc. New York. pp. F1.2.1-F.1.2.13.
- Kuskoski, M., Asuero, A., Troncoso, A. y Mancinifilho, J. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciencia y tecnología de alimentos* 25(4):1-12.
- Moo, H. Victor M., Estrada M. Ivan, Estrada L. Raciél, Cuevas G. Luis, Ortiz V. Elizabeth, Vargas y V. Maria de L., Betancur A. David, Sauri D. Enrique. 2014. Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry* 152: 508–515
- Morton, J. F. 1987. *Fruits of Warm Climates*, Publ. Miami, FL. U.S.A. pp: 416-418.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26:1231-1237.
- Rufino, M. S., Alves, R. E., Brito, E. S., Perez-Jimenez, J., Saura-Calixto, F., & Mancini-Filho, J. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 121, 996–1002.
- SIAP. 2017. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo “Modalidad riego+temporal”. SAGARPA, D. F., México. Disponible: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (consulta febrero 06, 2019)
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. Jr., (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158.
- Vaclavik, V. 2002. *Fundamentos de ciencia de los alimentos*. Editorial Acribia S. A. 99 - 129.
- Yahia, E. M. 2010. The contribution of fruit and vegetable consumption to human health. *Phytochemicals: Chemistry, nutritional and stability*. Wiley-Blackwell (Chapter 1).

- Yahia, E. M., Gutierrez-Orozco, F., & Arvizu-de Leon, C. 2011. Phytochemical and antioxidant characterization of the fruit of black sapote (*Diospyros digyna* Jacq.). *Food Research International*, 44, 2210–2216.
- Yao, L. H., Jiang, Y. M., Shi, J., Tomas-Barberan, F. A., Datta, N., Singanusong, R., et al. (2004). Flavonoids in food and their health benefits. *Plant Foods for Human Nutrition*, 59, 113–122.

IV. CONCLUSIONES GENERALES

Se encontraron dos formas de frutos cordiforme alargado y oval en frutos partenocárpicos y cordiforme y redondo en frutos no partenocárpicos, sin embargo, los frutos partenocárpicos tienen mayor oportunidad de mercado por presentar un mayor peso y diámetro de mesocarpio a comparación de los no partenocárpicos.

La longitud y diámetro de pedúnculo, el grosor de la hoja y diámetro del peciolo son una opción morfológica para poder predecir qué tipo de fruto se cosechará, la longitud del pedúnculo es mayor en frutos no partenocárpicos, pero el diámetro del pedúnculo, el grosor de la hoja y el diámetro del peciolo son mayores en frutos partenocárpicos.

Se determinaron cinco fases de maduración en frutos de esta especie, la fase uno corresponde a los frutos fisiológicamente maduros, sin embargo, la fase cuatro corresponde a la madurez de consumo.

La grasa de origen vegetal disminuye el riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares por ello los frutos partenocárpicos presentan mayor oportunidad de consumo por tener 31 % de grasa cruda por encima de los frutos no partenocárpicos. Sin embargo, los frutos no partenocárpicos tienen 25 % más de fibra cruda. De igual forma el contenido de potasio es mayor en frutos partenocárpicos.

El contenido de fenoles, flavonoides, antocianinas, carotenoides y capacidad antioxidante no difiere entre ambos materiales.