

Morphological characterization and maturation phases of black zapote (*Diospyros digyna* Jacq.)Caracterización morfológica y fases de maduración del zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.)Navarrete-Zapata, Cindy N.<sup>1</sup>; Villanueva-Couoh, Eduardo<sup>1\*</sup>; Cituk-Chan, Daniel E.<sup>1</sup>; Pinzón-López, Luis L.<sup>1</sup><sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico s/n, Conkal, Yucatán, México, C. P. 97345.\*Autor para correspondencia: [eduardo.villanueva@itconkal.edu.mx](mailto:eduardo.villanueva@itconkal.edu.mx)

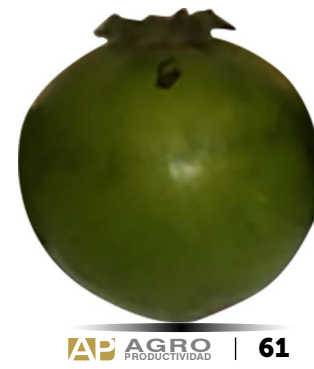
## ABSTRACT

**Objective:** To describe the morphological characterization and to determine the maturation phases of the black zapote (*Diospyros digyna* Jacq.).**Design/methodology/approach:** Qualitative and quantitative variables were considered for tree, leaf, flower and fruit. A completely randomized design was used with a selection criterion that the fruits were physiologically mature, ANOVA statistical analysis was applied to the data obtained using the statistical package of InfoStat version 2017e, the comparisons between parthenocarpic and non-parthenocarpic fruits were performed with a *t-student* and Tukey test for the comparison of means between the maturation phases of the fruits.**Results:** The stem was found to have a distinctive black color 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 and tubular. Nonparthenocarpic fruits (NPC) presented two forms: elongated cordiform and oval; while the parthenocarpic fruits presented also two forms: cordiform and round.

The weight, length and diameter of the NPC fruits were of 318.58 and 470.32 g, 99.29 and 94.26 mm and 85.32 and 101.04 mm, respectively. There were also found five stages of ripening of the fruit.

**Limitations on study/implications:** the results revealed that there are no morphological differences between plants and flowers. However, in the case of leaves and fruits differences were found in both materials.**Findings/conclusions:** Differences in the thickness and diameter of the petiole were found in NPC and PC fruit plants. Likewise, the results indicate that there are four forms of fruits and five stages of maturation for black zapote.**Keywords:** parthenocarpic, nonparthenocarpic, fruits, ripening.

## RESUMEN

**Objetivo:** Describir las características morfológicas y determinar las fases de maduración del zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.).**Diseño/metodología/aproximación:** Se consideraron variables cualitativas y cuantitativas para árbol, hoja, flor y fruto. Se utilizó un diseño completamente al azar, el criterio de selección fueron frutos fisiológicamente maduros. En los datos obtenidos se aplicó un análisis estadístico ANOVA; las comparaciones cualitativas y cuantitativas entre frutos partenocárpicos y no partenocárpicos se realizó con una prueba *t-student* ( $p \leq 0.05$ ) y para la comparación de medias entre las fases de maduración de los frutos se llevó a cabo una comparación de medias con prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) utilizando el paquete estadístico de InfoStat versión 2017e.

**Resultados:** 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 ancha. Los frutos no partenocárpicos (NPC) presentaron dos formas: cordiforme alargada y oval; mientras que, los frutos partenocárpicos (PC) presentaron también dos formas: cordiforme y redonda. El peso, longitud y diámetro de frutos NPC y PC fueron de 318.58 y 470.32 g, de 99.29 y 94.26 mm, y de 85.32 y 101.04 mm, respectivamente. De igual forma se encontraron cinco fases de maduración del fruto.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** Los resultados dieron a conocer que no hay diferencias morfológicas entre plantas y flores, sin embargo, para el caso de hojas y frutos se encontraron diferencias entre ambos materiales.

**Hallazgos/conclusiones:** Se encontraron diferencias en el grosor y diámetro del peciolo en plantas de frutos NPC y PC. De igual forma los resultados indican que hay cuatro formas de frutos y cinco fases de maduración para el zapote negro.

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

tos partenocárpicos (sin semillas) que agrónomicamente 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 tanto, el objetivo de este trabajo es describir las características morfológicas de frutos no partenocárpicos y partenocárpicos y determinar las fases de maduración de zapote negro.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el Instituto Tecnológico de Conkal, específicamente en los laboratorios de Fisiología y Biotecnología Vegetal donde se midieron las variables morfológicas.

Los frutos de zapote negro se colectaron en los municipios de Akil y Cholul del estado 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 a noviembre, dado que son los meses de fructificación de la especie.

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

## INTRODUCCIÓN

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

Por otra parte, 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 etapas: la madurez fisiológica, es cuando el fruto alcanza su máximo tamaño y mayor vigor de las semillas dependiendo de la especie; y la madurez de consumo, que es cuando se modifica el color a través del contenido de clorofilas, carotenoides y acumulación de flavonoides; así también se observa 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 amarillento y consistencia firme a marrón-negro y consistencia gelatinosa al madurar (Costa *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 fru-

La caracterización morfológica se realizó como lo señala Bioversity International y Cherla (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 instrumen-

tos 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 determinaron cinco fases de maduración en los frutos de zapote negro, considerando el color del pericarpio, color del mesocarpio y firmeza ( $\text{kg cm}^{-2}$ ) con un penetrómetro manual, equipos que contribuye a determinar la etapa de maduración de un fruto y garantizar la vida de anaquel (Gunasekaran et al., 2003). Para determinar sólidos solubles ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) se utilizó un refractómetro manual de 0-32  $^{\circ}\text{Brix}$ , colocando una gota de agua destilada en el cuadro del refractómetro para calibrarlo, después de calibrarlo se limpió y colocó una gota del extracto del fruto (Yahia et al., 2011).

Se utilizó un diseño completamente al azar con 40 repeticiones por material vegetativo y el criterio de selección fue que los frutos se encontraran en su madurez fisiológica. Las comparaciones de las variables cualitativas y cuantitativas entre frutos partenocárpicos y no partenocárpicos se realizó con una prueba *t-student* ( $p \leq 0.05$ ) y para la comparación de medias entre las fases de maduración de los frutos se aplicó un análisis estadístico ANOVA y una comparación de medias con prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) utilizando el pa-

quete estadístico de InfoStat versión 2017e.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La morfología de las plantas de frutos no partenocárpicos y partenocárpicos fueron similares, con 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 y 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, la nervadura es alzada de color amarilla 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). Estos resultados coinciden con lo reportado por Crane y Balerdi (2005), quienes mencionan que las hojas de zapote negro son alternas, oblongas de color verde obscuro de 10 a 30 cm de largo.

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.

Se encontraron cuatro formas de fruto (Figura 2). En frutos no partenocárpicos se encontraron dos formas: cordiforme alargado y oval; en frutos partenocárpicos se encontraron dos formas: cordiforme y redonda. Los cuatro tipos de frutos presentan simetría; cuando el fruto

**Cuadro 1.** Comparación de variables morfológicas de hojas de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.), en plantas de frutos partenocárpicos (FP) y no partenocárpicos (FNP).

Variables	FP	FNP
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

Medias  $\pm$  DE con letras diferentes en cada fila, indican diferencias significativas entre tratamientos (*t-student*,  $p \leq 0.05$ ,  $n=40$ ).



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

se encuentra fisiológicamente maduro el pericarpio es de color verde-amarillo siendo este color un indicativo para poder cosechar la fruta, el mesocarpio es de color amarillo claro cuando se encuentra fisiológicamente maduro y cuando se encuentra en su madurez apta para el consumo se torna de color negro.

Los frutos no partenocárpico tienen un peso promedio de 318 g y los frutos partenocárpico 470 g siendo ésta 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, quienes mencionan 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, Costa 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.

Se determinaron cinco fases de maduración en frutos partenocárpico

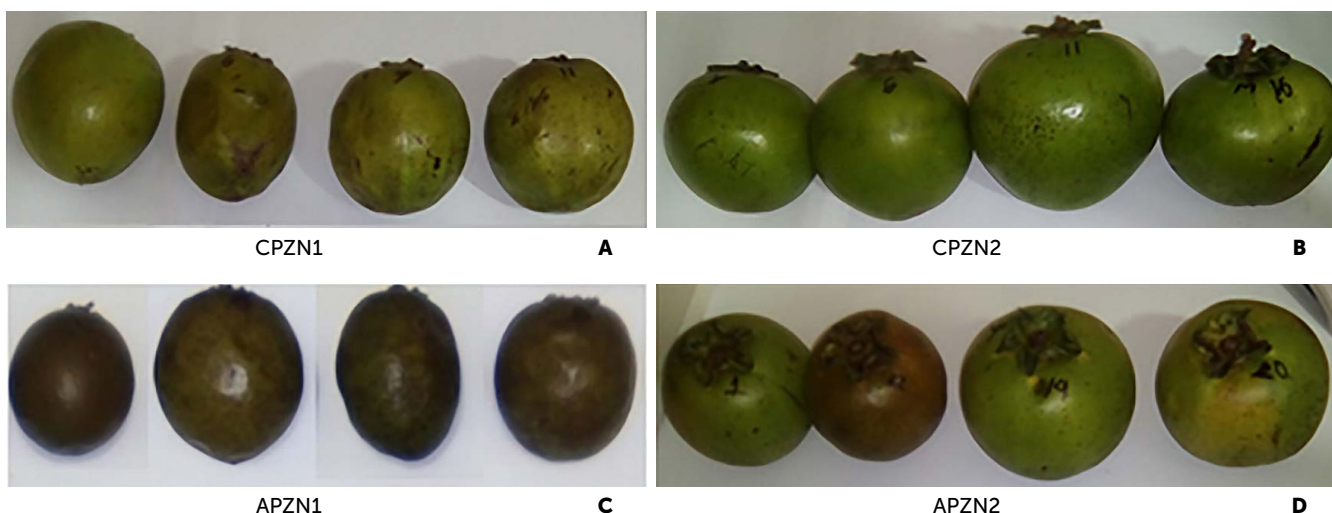
y no partenocárpico de zapote negro siendo similar para ambos materiales como se muestra en el Cuadro 3.

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

**Cuadro 2.** Comparación de medias de variables morfológicas en frutos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.) de plantas con frutos partenocárpico (FP) y frutos no partenocárpico (FNP).

Variables	FNP	FP
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

Medias±DE con letras diferentes en cada fila, indican diferencias significativas entre tratamientos (*t-student*,  $p \leq 0.05$ ,  $n=40$ ).



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

**Cuadro 3.** Descripción de las fases de maduración del zapote negro.

Fase	DDC	Color del pericarpio	Color del mesocarpio	Firmeza (kg cm <sup>-2</sup> )	SST (°Brix)
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±0.00 b	14.24±0.02 c

DDC: Días después de la cosecha. SST=Sólidos solubles totales. Medias ± DE con letras diferentes en cada columna, indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey  $p \leq 0.05$ ,  $n=5$ ).

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 se redujo conforme la fase de maduración fue aumentando y los sólidos solubles (°Brix) aumentaron de 14.920 a 17.760 (Cuadro 3). Gunasekaran et al. (2003) mencionan que la firmeza es una medida que se relaciona

pigmentos. En la Figura 3 se observan las características morfológicas cualitativas de las fases de maduración de zapote negro.

Por otro lado, los resultados obtenidos son similares a lo mencionado por Crane y Balerdi (2005), quienes 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. Asimismo, Ledesma y Campbeil (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,

con el nivel de madurez en los frutos y puede estar influenciada por la variedad del producto, la región y condiciones de cultivo. Moo-Huchin et al. (2014) reportan que el fruto de zapote negro tiene 22.33 °Brix, siendo esta cantidad la más alta comparada con 18 especies cultivadas en el estado de Yucatán; mientras que, Yahia et al. (2011) menciona que el zapote negro tiene 17.87 °Brix.

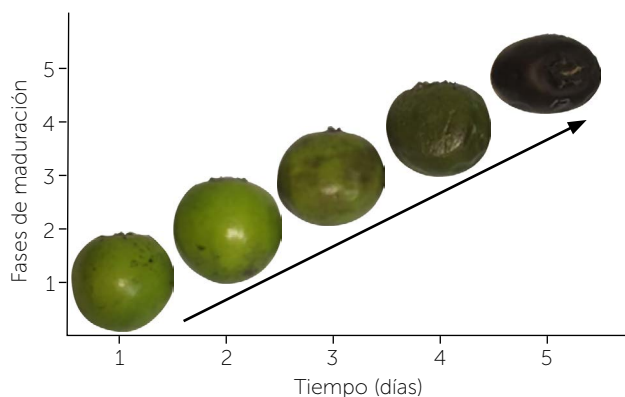
## CONCLUSIONES

La morfología de plantas de frutos NPC y de frutos PC no fue diferente, con excepción del grosor de la hoja con medias de 5.00 y 5.44 cm, respectivamente; y del diámetro del peciolo con valores de 2.53 y 2.73 cm, respectivamente. Se encontraron cuatro 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), lo que representa una oportunidad de mercado y un mayor potencial para aprovechamiento del mesocarpio.

La identificación de las fases de maduración del zapote negro es una contribución importante para determinar el punto óptimo de cosecha, el cual es cuando el fruto se torna de color verde amarillento (fase 1); asimismo para determinar la fase de maduración apta para el consumo (fase 4), cuando el pericarpio se torna de color negro al igual que el mesocarpio.

## LITERATURA CITADA

- Araújo, E. C., Mendonça, A. V. R., Barroso, D. G., Lamônica, K. R., & Silva, R. F. (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: morfologia aplicada a sistemática de dicotiledóneas. Viçosa: UFFV, Viçosa, Brasil.



**Figura 3.** Características de maduración del zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.) a los cinco días de cosecha.

- Bioversity International y CHERLA. 2008. Descriptores para chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.). Bioversity International, Roma, Italia; Proyecto CHERLA, Malaga, España.
- 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.
- Costa, R. S., Oliveira, I. V. M., Mõro, F. V., & Martins, A. B. G. (2010). Caracterização morfológica do fruto, semente e morfofunção de plântulas de sapoteira-preta (*Diospyros ebenaster* Retz.). Comunicata Scientiae, 1, 9-14.
- Crane, J. H., & Balerdi, C. (2005). Black Sapote Growing in the Florida Home Garden. Recuperado el 8 de julio de 2020, de <https://www.growables.org/information/TropicalFruit/BlackSapote.htm>
- Donadio, L. C., Nachtigal, J. C., & Sacramento, C. K. (1998). Frutas exóticas. Jaboticabal, Brasil: FUNEP.
- Dos Santos, R. S., Arge, L. W. P., Costa, S. I., Machado, N. D., de Mello- Farias, P. C., Rombaldi, C. V. & de Oliveira, A. C. (2015). Genetic regulation and the impact of omics in fruit ripening. Plant Omics, 8(2), 78-88.
- Gunasekaran, S., & Mehmet, M. (2003). Cheese Rheology and Texture. Boca Ratón: CRC Press.
- Ledesma, N., & Campeil, J. (2001). Reseña histórica, cultivares y propagación del zapote prieto (*Diospyros digyna* Jacq.) en el sur de la Florida. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture, 45, 12-14.
- Lelièvre, J. M., Latché, A., Jones, B., Bouzayen, M., & Pech, J. C. (1997). Ethylene and fruit ripening. Physiologia Plantarum, 101, 727-739.
- Martín, F., Campbell, C. W., & Ruberté, R. M. (1987). Perennial Edible Fruits of the Tropics. An inventory. Recuperado el 8 de julio de 2020, de <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT87886130/PDF>
- Moo-Huchin, V. M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vázquez, E., Vargas y Vargas, M. L., Betancur-Ancona, D., & Sauri-Duch, E. (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, Miami, Fl.: Creative Resource Systems, Inc.
- Manrique, K. K. (2001). Nociones del Manejo de Post-Cosecha. Recuperado el 8 de julio de 2020, de <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/nociones-de-postcosecha.pdf>.
- Niembro, R. A., Vázquez, T. M., & Sánchez, S. O. (2010). Árboles de Veracruz 100 especies para la reforestación estratégica. Recuperado el 8 de julio de 2020, de [https://www.sev.gob.mx/servicios/publicaciones/colec\\_veracruzsigloXXI/ArbolesVeracruz100especies.pdf](https://www.sev.gob.mx/servicios/publicaciones/colec_veracruzsigloXXI/ArbolesVeracruz100especies.pdf).
- Omboki, R. B., Wu, W., Xie, X., & Mamadou, G. (2015). Ripening genetics of the tomato fruit. The International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 8(4), 567-572.
- SIAP. (2017). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo "Modalidad riego+temporal". Recuperado el 6 de febrero de 2019, de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Vaclavik, V. (2002). Fundamentos de ciencia de los alimentos. Zaragoza, España: Editorial Acribia S. A.
- 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.

