

Phenological growth stages of soursop trees (*Annona muricata* L.) based on the extended BBCH-scale

Estadios fenológicos de crecimiento de árboles de guanábana (*Annona muricata* L.) utilizando la escala BBCH extendida

José Orlando Jiménez-Zurita²; Irán Alia-Tejacal^{1*}; Rosendo Balois-Morales²; Juan Manuel Villarreal-Fuentes³; Carlos Alberto Núñez-Colín⁴; Guillermo Berumen-Varela²

¹Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad, núm. 1001, Cuernavaca, Morelos, C. P. 62210, MÉXICO.

²Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura s/n, col. Centro, Tepic, Nayarit, C. P. 63000, MÉXICO.

³Universidad Autónoma de Chiapas. Entronque Carretera Costera y Huehuetán Pueblo, Huehuetán, Chiapas, C. P. 30660, MÉXICO.

⁴Universidad de Guanajuato. Mutualismo, núm. 303, col. La Suiza, Celaya, Guanajuato, C. P. 38060, MÉXICO.

*Corresponding author: iran.alia@uaem.mx

Abstract

The soursop is a species of tropical fruit well accepted by consumers due to its creamy white pulp and excellent flavor. Currently, Mexico is the largest producer and consumer; however, the agronomic practices in use were established without a systematic knowledge of *A. muricata* L. phenology. The objective of this work then, was to conduct such a study in two of the main producing regions of Mexico: Tepic and Compostela (both in the state of Nayarit). For this, a total of 20 ungrafted trees were selected and their growth stages described using the extended BBCH-scale (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie). Overall, eight main phenological stages were identified over the course of a year. These were: the development of buds (stage 0), leaves (stage 1), and shoots (stage 3), the emergence of flowers (stage 5), flowering (stage 6), fruit development and maturity (stages 7-8), and senescence of branches (stage 9). In addition, 37 secondary growth stages were also described and quantified. The highest number of vegetative shoots occurred from March-July, 2017 and the biggest increase in floral structures from July-September, 2017. Fruit setting to physiological maturity took an average of 114 days in both Tepic and Compostela, with the most intense defoliation occurring in October, 2017 in the former (Tepic) and in December, 2016 in the latter (Compostela). Hopefully, improved agronomic practices will be established using this information, as well as suitable protocols for future physiological studies.

Keywords: phenology, climatic conditions, temperature, relative humidity.

Resumen

La guanábana (*Annona muricata* L.) es una especie frutal tropical aceptada ampliamente por los consumidores debido a su pulpa cremosa y su sabor. Actualmente, México es el mayor productor y consumidor; sin embargo, las prácticas agronómicas actuales fueron establecidas sin un conocimiento sistemático de la fenología de este frutal. El objetivo de este trabajo fue realizar una descripción fenológica de árboles de guanábana en dos regiones productoras de México: Tepic y Compostela (Nayarit). Para ello, se seleccionaron 20 árboles no injertados y se describieron sus estadios de crecimiento utilizando la escala BBCH extendida (*Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie*). Se identificaron ocho estadios fenológicos a lo largo de un año: desarrollo de yemas (estadio 0), hojas (estadio 1) y brotes (estadio 3), aparición de flores (estadio 5), floración (estadio 6), desarrollo y madurez de frutos (estadios 7-8) y senescencia de ramas (estadio 9). Además, se describieron y cuantificaron 37 etapas de crecimiento secundario. La mayor cantidad de brotes vegetativos se presentó entre marzo y julio de 2017, y el mayor incremento en estructuras florales, entre julio y septiembre del mismo año. Entre el amarre y la madurez fisiológica de los frutos transcurrieron 114 días en promedio, tanto en Tepic como en Compostela. La defoliación más intensa ocurrió en octubre de 2017 en Tepic y en diciembre de 2016 en Compostela. La información presentada en este trabajo se puede emplear para mejorar las prácticas agronómicas, así como en la realización de futuros estudios fisiológicos.

Palabras clave: fenología, condiciones climáticas, temperatura, humedad relativa.

Please cite this article as follows (APA 6): Jiménez-Zurita, J. O., Alia-Tejacal, I., Balois-Morales, R., Villarreal-Fuentes, J. M., Núñez-Colín, C. A., & Berumen-Varela, G. (2023). Phenological growth stages of soursop trees (*Annona muricata* L.) based on the extended BBCH-scale. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 29(1), 5-18. doi: 10.5154/r.rchsh.2022.03.006



Revista Chapingo
Serie Horticultura

Introduction

The soursop (*Annona muricata* L.) is a fruit tree native to Central America, the West Indies, and northern South America (Pinto et al., 2005) though its current distribution also includes tropical areas in both Africa and Asia (Coria-Téllez, Montalvo-González, & Obledo-Vázquez, 2018). In Latin America, the fruit is widely cultivated in Colombia, Brazil, and Venezuela; however, Mexico is the leading producer and consumer worldwide (Anaya-Dyck et al., 2021), with a total cultivated area of 3,612 ha, average yield of 9.7 t·ha⁻¹, and total production value of 248.1 million MXN (11.8 million USD) (Servicio de Información Agrícola y Pesquera [SIAP], 2021).

In Mexico, *A. muricata* L. is grown mostly in the states of Tabasco, Veracruz, Colima, Guerrero, and Nayarit (the latter concentrating ~71 % of the total cultivated land area, particularly in Compostela a region responsible for 81 % of the total value of production nationally) (Andrés-Agustín & Andrés-Hernández, 2011; SIAP, 2021; Anaya-Dyck et al., 2021). Despite this, the agronomic management of this species is deficient, both in this region (Nayarit), and in the rest of Mexico. For instance, orchards are generally established using trees germinated from seeds as grafting is limited. Also, the planting density is low (280 plants·ha⁻¹), the irrigation system deficient or lacking, and phytosanitary control absent despite anthracnose and the seed borer (*Bephratelloides cubensis*) being serious issues. Furthermore, the pollination of flowers (which occurs naturally, and is not manually assisted) is deficient, resulting in fruits of a variable shape and size (Hernández-Fuentes, Nolasco-González, & Cruz-Gutiérrez, 2017; Berumen-Varela, Hernández-Oñate, & Tiznado-Hernández, 2019; Anaya-Dick et al., 2021). As a result, soursop losses are high (up to 3 t·ha⁻¹, with those attributed to handling and transportation constituting an additional 25-35 % of the total volume produced), yields low and irregular (in certain orchards, as low as 6-8 t·ha⁻¹), fruit quality variable, and postharvest life quite short (Anaya-Dick et al., 2021).

In this context, an aspect scarcely studied is the phenology of the crop itself, which can be used to implement suitable agronomic practices (e.g. pruning, defoliation, fertigation, etc.) and understand its life cycle (Liu et al., 2015). Phenology has previously been studied in numerous herbaceous plants of economic importance (e.g. rice, corn, sunflower, beans, peas, etc.) using the extended BBCH-scale, i.e., the Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt, und Chemische Industrie a descriptive system that assigns uniform codes to similar stages of growth in both mono- and dicotyledonous species (Meier et al., 2009). In fruits, the BBCH-scale can also be used to establish harvest indices that do not rely on external

Introducción

El guanábano (*Annona muricata* L.) es un árbol frutal originario de Centroamérica, las Antillas y el norte de Sudamérica (Pinto et al., 2005), aunque su distribución actual incluye zonas tropicales tanto de África como de Asia (Coria-Téllez, Montalvo-González, & Obledo-Vázquez, 2018). En América Latina, el fruto se cultiva ampliamente en Colombia, Brasil y Venezuela; sin embargo, México es el principal productor y consumidor a nivel mundial (Anaya-Dyck et al., 2021), con una superficie cultivada de 3,612 ha, un rendimiento promedio de 9.7 t·ha⁻¹ y un valor total de la producción de 248.1 millones de MXN (11.8 millones de USD) (Servicio de Información Agrícola y Pesquera [SIAP], 2021).

En México, *A. muricata* L. se cultiva principalmente en los estados de Tabasco, Veracruz, Colima, Guerrero y Nayarit. Este último concentra ~71 % de la superficie total cultivada, particularmente en Compostela, región responsable del 81 % del valor total de la producción a nivel nacional (Andrés-Agustín & Andrés-Hernández, 2011; SIAP, 2021; Anaya-Dyck et al., 2021). A pesar de ello, el manejo agronómico de esta especie es deficiente, tanto en la región de Nayarit como en el resto de México. Por ejemplo, las huertas se establecen generalmente con árboles germinados a partir de semillas, ya que el uso de injertos es limitado. Además, la densidad de plantación es baja (280 plantas·ha⁻¹), el sistema de riego es deficiente o inexistente, y el control fitosanitario es ausente a pesar de que la antracnosis y el barrenador de la semilla (*Bephratelloides cubensis*) son problemas graves. La polinización de las flores (que se produce de forma natural, no es asistida manualmente) es deficiente, dando lugar a frutos de forma y tamaño variables (Hernández-Fuentes, Nolasco-González, & Cruz-Gutiérrez, 2017; Berumen-Varela, Hernández-Oñate, & Tiznado-Hernández, 2019; Anaya-Dick et al., 2021). En consecuencia, las pérdidas de guanábano son elevadas (hasta 3 t·ha⁻¹, a las cuales se suman las atribuidas al manejo y transporte: 25 a 35 % adicional del volumen total producido), los rendimientos son bajos e irregulares (de hasta 6 a 8 t·ha⁻¹ en algunas huertas), la calidad de la fruta es variable y la vida poscosecha es bastante corta (Anaya-Dick et al., 2021).

En este contexto, un aspecto escasamente estudiado es la fenología del propio cultivo, que puede ser utilizada para implementar prácticas agronómicas adecuadas (como poda, defoliación, fertirrigación, entre otras) y entender su ciclo de vida (Liu et al., 2015). La fenología se ha estudiado en numerosas plantas herbáceas de importancia económica (como arroz, maíz, girasol, frijol y chícharo) utilizando la escala BBCH extendida; es decir, la *Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie*, un sistema descriptivo que asigna códigos uniformes a etapas de crecimiento similares en especies mono- y dicotiledóneas (Meier et al., 2009). En

coloration, which is currently the main indicator used by most producers (Serrano, Guillén, Martínez-Romero, Castillo, & Valero, 2005).

Earlier studies have described the phenological stages of *A. muricata* L. under various climatic conditions in Brazil (Falcão, Lleras, & Leite, 1982; Nascimento, Filho, & Santos, 2002) and Venezuela (Yamarte et al., 2004; Yamarte, Marín, Baustista, & Avilán, 2006), but not in Mexico. Thus, the objective of this work was to study these stages in two soursop-producing regions of the state of Nayarit. For this, the extended BBCH-scale was consulted and applied.

Materials and methods

Location and plant material

Twenty ungrafted trees of *A. muricata* L. were selected for this study: ten from each of the following two locations: a 15-year-old commercial orchard located in Venustiano Carranza, Tepic (state of Nayarit), Mexico (21° 32' 2.77" NL, 104° 58' 39.73" WL, 893 m a. s. l.) and a 30-year-old orchard located in El Tonino, Compostela (also in the state of Nayarit) (21° 03' 25.7" NL, 105.11' 54.63" WL, 425 m a. s. l.). The climate in Tepic is classified as semi-warm, sub-humid and the one in Compostela as warm, sub-humid. The average yearly temperature in the two locations differs by 2 °C, with Tepic being generally rainier than Compostela (Table 1). All trees were established from seeds, which yielded a high level of morphological and size variability in the fruits produced (Hernández-Fuentes, Gómez-Jaimes, & Andrés-Agustín, 2013). The ultimate origin of their parent trees, however, could not be determined.

Four branches per tree (127.8-131.5 cm in length and 6.2-10.3 cm in diameter) were marked in each of the four cardinal directions, as were 15 resting buds in each branch (single subterminal flowers and grouped flowers appeared later on these branches). The markings were performed in order to study the phenological stages in these structures for approximately one year from October, 2016 to November, 2017. For each phenological stage,

frutos, la escala BBCH se puede utilizar para establecer índices de cosecha que no dependan de la coloración externa, que es el principal indicador utilizado por la mayoría de los productores (Serrano, Guillén, Martínez-Romero, Castillo, & Valero, 2005).

Estudios previos han descrito los estadios fenológicos de *A. muricata* L. bajo diversas condiciones climáticas en Brasil (Falcão, Lleras, & Leite, 1982; Nascimento, Filho, & Santos, 2002) y Venezuela (Yamarte et al., 2004; Yamarte, Marín, Baustista, & Avilán, 2006), pero no en México. Por ello, el objetivo de este trabajo fue estudiar los estadios fenológicos de *A. muricata* mediante la escala BBCH extendida en dos regiones productoras de guanábana del estado de Nayarit, México.

Materiales y métodos

Localización y material vegetativo

Se seleccionaron 20 árboles de *A. muricata* L. sin injertar: 10 pertenecían a una huerta comercial de 15 años de edad ubicada en Venustiano Carranza, Tepic (estado de Nayarit), México (21° 32' 2. 77" LN y 104° 58' 39.73" LO, a 893 m s. n. m.), y 10 a una huerta de 30 años ubicada en El Tonino, Compostela (también en el estado de Nayarit) (21° 03' 25.7" LN y 105.11' 54.63" LO, a 425 m s. n. m.). El clima de Tepic se clasifica como semicálido subhúmedo, y el de Compostela, como cálido subhúmedo. La temperatura media anual en las dos localidades difiere en 2 °C, aunque Tepic es más lluvioso que Compostela (Cuadro 1). Todos los árboles se establecieron a partir de semillas, lo cual dio lugar a un nivel alto de variabilidad morfológica y de tamaño en los frutos producidos (Hernández-Fuentes, Gómez-Jaimes, & Andrés-Agustín, 2013). Sin embargo, no se pudo determinar el último origen de sus árboles madre.

Se marcaron cuatro ramas por árbol (de 127.8 a 131.5 cm de longitud y de 6.2 a 10.3 cm de diámetro) en cada dirección cardinal; además, se marcaron 15 yemas en reposo en cada rama, donde se desarrollaron flores individuales subterminales y flores agrupadas. Las marcas se realizaron para estudiar los estadios fenológicos en estas estructuras durante aproximadamente un año

Table 1. Climatic conditions in the regions of study.

Cuadro 1. Condiciones climáticas en las regiones de estudio.

Locality/ Localidad	Weather/ Clima	Temperature (°C)*/Temperatura (°C)*			Altitude (m)/ Elevación (m)	Annual rainfall (mm)*/ Precipitación anual (mm)*
		Average/ Promedio	Average max./ Máximo promedio	Average min./ Mínimo promedio		
Tepic	AC(w)	21.1	28.8	13.3	963	1451.9
Compostela	A(w)	22.9	30.2	15.7	834	971.4

Source = Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2019); Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2017). * Period 1951-2010.

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2019); Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2017). *Periodo de 1951-2010.

observations were made either every eight days or twice a week. In both locations, the orchards lacked an irrigation system; thus, agronomic management was focused on sanitation, pruning, and the elimination of dead branches or shoots from the base of the main trunks.

Phenological development stages (BBCH-scale)

The BBCH-scale uses a decimal code system, which is divided into principal and secondary growth stages (Meier et al., 2009). The first digit of the scale corresponds to the principal growth stage, and its interval goes from 0 to 9. The second digit varies from 1 to 9 and specifies the mid-stages (i.e. mesostages) between the principal and secondary stages. Finally, the third digit is a numerical value between 0 and 9 that may refer to the percentage of growth that occurs in a particular organ/structure (e.g. leaf buds, leaves, shoots, flower buds, flowers, fruits, etc.) or to the percentage of progress in a particular physiological process (e.g. defoliation during senescence) (Liu et al., 2015).

The phenological stages of each sample were determined using eight of the ten principal ones outlined in the BBCH-scale (Cautín & Agustí, 2005; Meier et al., 2009), starting with bud development and ending with branch and leaf senescence. Additionally, the percentage of vegetative shoots, floral structures, fruit development, and overall defoliation was also quantified. Temperature and relative humidity (RH) were recorded with a data logger (U14-001, HOBO®, USA) that remained active during the entire period of study. Photographs were taken of each structure analyzed and were selected to illustrate the different phenological stages observed.

Statistical analysis

A comparison between the phenological stages of trees in the two orchards (i.e. in Compostela and Tepic) was performed using Student's *t*-test. These data were previously transformed using an angular method (Townend, 2002). Using the statistical software SAS v. 9.1 (Castillo-Márquez, 2011), simple correlations were also made between the presence of plant structures and the average temperature, RH, and precipitation.

Results and discussion

Climatic conditions in the regions of study

Monthly average temperature

In Compostela, the average temperature varied between 22 and 28.2 °C, with the average maximum (37 °C) occurring in October, 2017 and the average minimum (15°C) in December, 2016 (Figure 1A). The monthly

(de octubre de 2016 hasta noviembre de 2017). Para cada estadio fenológico, se realizaron observaciones cada ocho días o dos veces por semana. En ambas localidades, las huertas carecían de sistema de riego, por lo que el manejo agronómico se centró en el saneamiento, la poda y la eliminación de ramas o brotes muertos de la base de los troncos principales.

Estadios fenológicos de crecimiento (escala BBCH)

La escala BBCH utiliza un sistema de código decimal, que se divide en estadios de crecimiento principales y secundarios (Meier et al., 2009). El primer dígito de la escala corresponde al estadio de crecimiento principal, y su intervalo va de 0 a 9. El segundo dígito varía de 1 a 9, y especifica los estadios intermedios (mesoestadios) entre los estadios principal y secundario. Por último, el tercer dígito es un valor de 0 a 9 que se puede referir al porcentaje de crecimiento que se produce en un órgano o estructura en particular (como yemas foliares, hojas, brotes, yemas florales, flores y frutos), o al porcentaje de progreso en un proceso fisiológico en específico (por ejemplo, defoliación durante la senescencia) (Liu et al., 2015).

Los estadios fenológicos de cada muestra se determinaron utilizando ocho de los diez principales que establece la escala BBCH (Cautín & Agustí, 2005; Meier et al., 2009), los cuales comienzan con el desarrollo de yemas y terminan con la senescencia de ramas y hojas. Asimismo, se cuantificó el porcentaje de brotes vegetativos, estructuras florales, desarrollo de frutos y defoliación general. La temperatura y la humedad relativa (HR) se registraron con un *datalogger* (U14-001, HOBO®, EUA), el cual permaneció activo durante todo el periodo de estudio. Se tomaron fotografías de cada estructura analizada y se seleccionaron para ilustrar los diferentes estadios fenológicos observados.

Análisis estadístico

La comparación entre los estadios fenológicos de los árboles de las dos huertas (Compostela y Tepic) se realizó mediante la prueba *t* de Student. Dichos datos se transformaron previamente mediante un método angular (Townend, 2002). También se realizaron correlaciones simples entre la presencia de estructuras vegetativas y la temperatura media, la HR y la precipitación, con el programa estadístico SAS ver. 9.1 (Castillo-Márquez, 2011).

Resultados y discusión

Condiciones climáticas en las regiones de estudio

Temperatura promedio mensual

En Compostela, la temperatura media varió de 22 a 28.2 °C, con máxima de 37 °C en octubre de 2017 y

average temperature in Tepic fluctuated between 19.8 and 23.6 °C with the average maximum (34 °C) recorded in May, 2017 and the average minimum (10.7 °C) in January, 2017 (Figure 1B). These differences in temperature influenced both vegetative and reproductive growth, especially in leaves, shoots, and flowers (110-119, 311-319, and 510-519, respectively). As a result, the duration of these stages was shorter in Compostela (25, 51, and 36 d) than in Tepic (47, 73, and 42 d) (Table 2).

According to Pinto et al. (2005) soursops are best cultivated between 21 and 30 °C as the fruit is susceptible to sudden changes in temperature, especially those below 12 °C. In Tepic, temperatures below 12 °C were recorded for approximately two months (i.e. from January to part of February) while in Compostela, minimum temperatures did not fall below 15 °C (Figure 1A). These data indicate that the best conditions for soursop development occurred in Compostela, and that ecotypes adapted to low temperature (prevalent during the winter season) may exist in Tepic.

Monthly average relative humidity

The monthly average RH registered in Compostela and Tepic fluctuated between 71-86 and 89-95 %, respectively (Figure 1A and B). The latter is important as RH is among the main determinants for pollination. For instance, Cárdenas-Torres (2002) reports that when RH is greater than 80 %, the percentage of pollination and fertilization increases so that more flowers

mínima de 15 °C en diciembre de 2016 (Figura 1A). La temperatura media mensual en Tepic fluctuó de 19.8 a 23.6 °C, con máxima de 34 °C registrada en mayo de 2017 y mínima de 10.7 °C en enero de 2017 (Figura 1B). Las diferencias de temperatura influyeron tanto en el crecimiento vegetativo como en el reproductivo, especialmente en hojas (110-119), brotes (311-319) y flores (510-519). Como resultado, la duración de estas etapas fue menor en Compostela (25, 51 y 36 días, respectivamente) que en Tepic (47, 73 y 42 días, respectivamente) (Cuadro 2).

De acuerdo con Pinto et al. (2005), la guanábana se cultiva mejor entre 21 y 30 °C, ya que la fruta es susceptible a cambios bruscos de temperatura, especialmente a los que ocurren por debajo de los 12 °C. En Tepic se registraron temperaturas inferiores a 12 °C durante aproximadamente dos meses (de enero a febrero), mientras que en Compostela, las temperaturas mínimas no bajaron de 15 °C (Figura 1A). Estos datos indican que las mejores condiciones para el desarrollo de la guanábana se dieron en Compostela, y que en Tepic pueden existir ecotipos adaptados a bajas temperaturas (que prevalecen durante la temporada de invierno).

Humedad relativa promedio mensual

La HR media mensual registrada en Compostela y Tepic fluctuó entre 71-86 y 89-95 %, respectivamente (Figura 1A y B), siendo esta una de las principales determinantes para la polinización. Cárdenas-Torres (2002) reporta que cuando la HR es mayor a 80 %, el porcentaje de polinización y fecundación incrementa, por lo que más

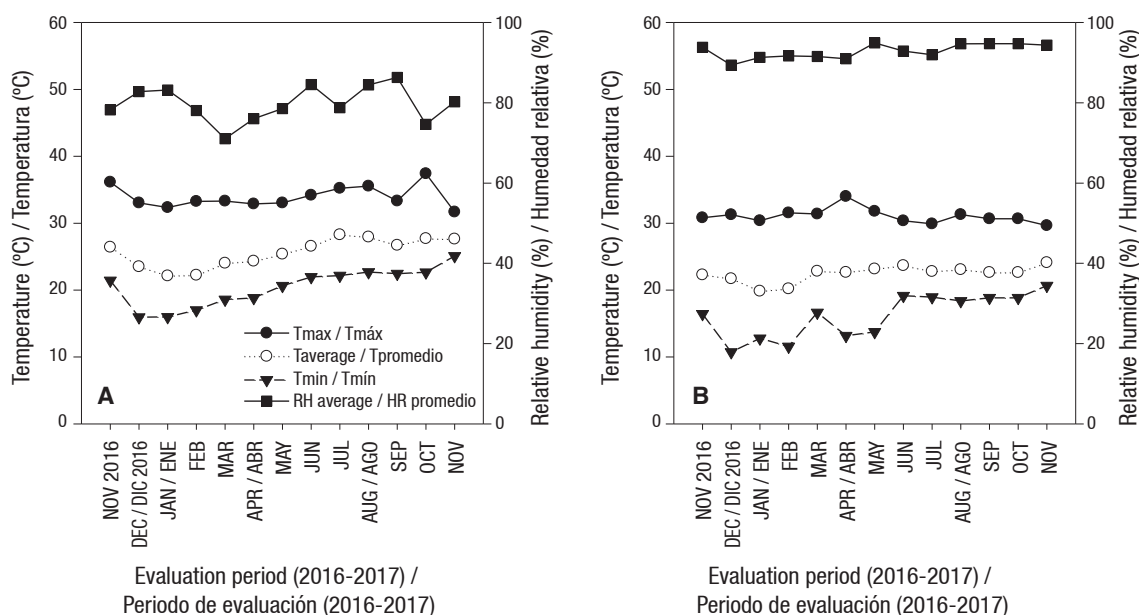


Figure 1. Temperature (T) and relative humidity (RH) in Compostela (A) and Tepic (B), state of Nayarit, Mexico.
Figura 1. Temperatura (T) y humedad relativa (HR) en Compostela (A) y Tepic (B), Nayarit, México.

Table 2. Phenological stages of soursop trees (*A. muricata* L.) cultivated in two regions of Nayarit, Mexico (Tepic and Compostela).**Cuadro 2. Estadios fenológicos de árboles de guanábana (*A. muricata* L.) cultivados en dos regiones de Nayarit, México (Tepic y Compostela).**

Phenological stage / Estadio fenológico	Main period / Periodo principal	Duration (days) / Duración (días)	
		Tepic	Compostela
Leaf bud development (010 – 019) / Desarrollo de yemas foliares (010 – 019)	April - July / abril - julio	46	42
Leaf development (110 – 119) / Desarrollo foliar (110 – 119)	April - July / abril - julio	47	25
Shoot development (311 – 319) / Desarrollo de brotes (311 – 319)	April - July / abril - julio	73	51
Flower development (510 – 519) / Desarrollo floral (510 – 519)	September - December / septiembre - diciembre	42	36
Flowering (610 – 619) / Floración (610 – 619)	September - December / septiembre - diciembre	132	153
Fruit development (710 – 719) / Desarrollo de frutos (710 – 719)	November 2016 - February (Tepic) / July - September (Compostela) / noviembre 2016 - febrero (Tepic) / julio - septiembre (Compostela)	119	109
Fruit maturity (810 – 819) / Maduración de frutos (810 – 819)	May - July / mayo - julio	8-10	8-10
Senescence of leaf / senescence of branches (910 – 919) / Senescencia foliar / senescencia de ramas (910 – 919)	October - November (Tepic) / November - December 2016 (Compostela) / octubre - noviembre (Tepic) / noviembre - diciembre 2016 (Compostela)	20	17

turn into fruits, whereas Nakasone and Paull (1998) find that values lower than 30 % result in deficient pollination. Furthermore, the russetting of the peel (rind) in fruits close to physiological maturity can increase when RH is less than 60 % (Nakasone & Paull, 1998). The production system at both locations did not include irrigation, and under these conditions, RH remained close to the recommended interval ($\geq 80\%$). Only in Compostela were values lower than the 80 % threshold during the months of October and March (Figure 1A).

Annual pluvial precipitation

The total volume of this parameter (1,377.3 mm in Tepic; 1,403.2 mm in Compostela) as well as its temporal distribution (light precipitations from October-December, 2016; heavy precipitations from June 2016-September, 2017) were similar in the two regions of study (Figure 2A and B). This pattern appears to be acceptable for the phenological development of soursops as moderate fluctuations are conducive to adequate growth in *A. muricata* L. (Yamarte et al., 2006). Nevertheless, other studies insist that optimal development depends upon uniform rainfall year-round (Pinto et al., 2005).

flores se convierten en frutos. Nakasone y Paull (1998) observaron que valores menores a 30 % conducen a una polinización deficiente. Además, la rugosidad (o *russetting*) de la cáscara (corteza) en los frutos próximos a la madurez fisiológica puede aumentar cuando la HR es inferior a 60 % (Nakasone & Paull, 1998). El sistema de producción en ambas localidades no incluía riego, por lo que la HR se mantuvo cerca del intervalo recomendado ($\geq 80\%$), únicamente en Compostela se registraron valores inferiores al umbral de 80 % durante los meses de octubre y marzo (Figura 1A).

Precipitación pluvial anual

El volumen total de precipitación (1,377.3 mm en Tepic y 1,403.2 mm en Compostela), así como su distribución temporal (precipitaciones ligeras de octubre a diciembre de 2016 y precipitaciones fuertes de junio de 2016 a septiembre de 2017) fueron similares en las dos regiones de estudio (Figura 2A y B). Este patrón parece ser aceptable para el desarrollo fenológico del guanábano, ya que las fluctuaciones moderadas favorecen su crecimiento adecuado (Yamarte et al., 2006). No obstante, otros estudios hacen hincapié en que el desarrollo óptimo depende de la uniformidad de las lluvias durante todo el año (Pinto et al., 2005).

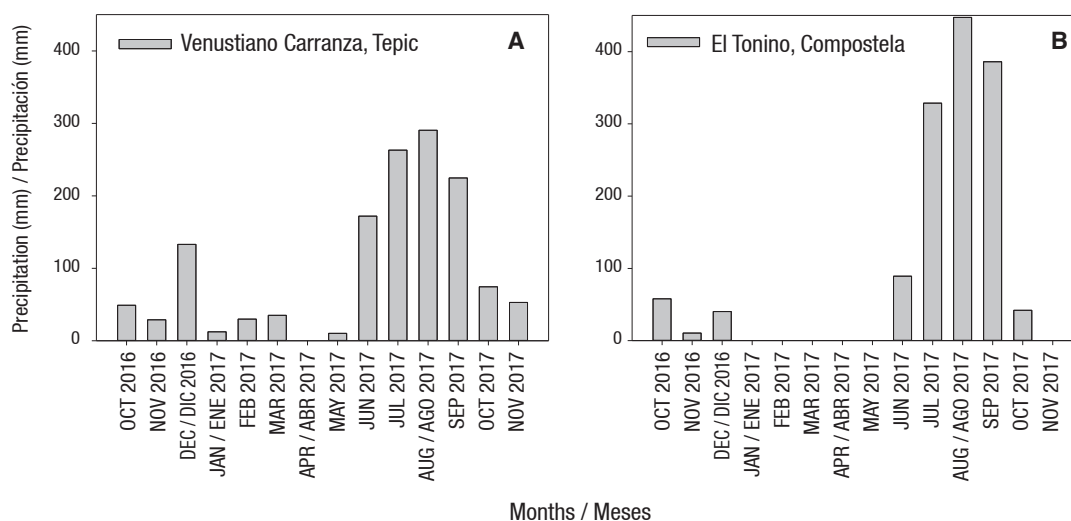


Figure 2. Annual precipitation in Tepic (A) and Compostela (B), state of Nayarit, Mexico (Source: SMN, 2019).
Figura 2. Precipitación anual en Tepic (A) y Compostela (B), Nayarit, México (Fuente: SMN, 2019).

Description of phenological stages

In the life cycle of *A. muricata* L., eight main stages of growth were typified using the extended BBCH-scale: vegetative growth, which included the development of buds (stage 0), leaves (stage 1), and shoots (stage 3); flower growth, which included their emergence (stage 5) and opening (stage 6); fruit development, which included both fruit setting/growth (stage 7) and fruit maturity (stage 8); and lastly, the senescence of branches (implied by defoliation or the falling of leaves, stage 9). All of these are described in Table 3 and illustrated with photographs in Figure 3.

The stages of vegetative growth (i.e. the development of buds [010–019], leaves [110–119], and shoots [311–319]) occurred in high proportion from November, 2016 to June, 2017 in both orchards; however, they decreased from August–November in Compostela, and to a lesser extent, in Tepic, with a more active growth phase ($P \leq 0.05$) occurring from October–November in the latter's case (Figure 4A). Thus, vegetative growth in Tepic was apparently continuous and required almost 166 days to complete (compared to the 118 days in Compostela, a region with higher overall temperatures) (Table 2). Although reports on the duration of vegetative growth in *A. muricata* L. are scarce and not strictly comparable with those of this study, similar time frames to those in Tepic (182 days) are also observed in *Annona squamosa* L. (Liu et al., 2015).

According to Yamarte et al. (2006), growth and branching are scarce during periods of drought with shoot formation occurring mostly during the rainy season. Despite this, we found active growth of

Descripción de los estadios fenológicos

En el ciclo de vida de *A. muricata* L. se tipificaron ocho estadios principales de crecimiento de acuerdo con la escala BBCH extendida: crecimiento vegetativo, que incluye el desarrollo de yemas (estadio 0), hojas (estadio 1) y brotes (estadio 3); crecimiento de flores, que incluye su emergencia (estadio 5) y su apertura (estadio 6); desarrollo de frutos, que incluye tanto el amarre de los frutos (estadio 7) como su madurez (estadio 8), y senescencia de las ramas, inferida por la defoliación o la caída de las hojas (estadio 9). En el Cuadro 3 se observa la descripción detallada y en la Figura 3 se ilustra con fotografías.

Las fases de crecimiento vegetativo (desarrollo de yemas [010-019], hojas [110-119] y brotes [311-319]) se presentaron en mayor proporción de noviembre de 2016 hasta junio de 2017 en ambas huertas; sin embargo, disminuyeron de agosto a noviembre, aunque en Tepic se presentó una fase de crecimiento más activa ($P \leq 0.05$) (Figura 4A). El crecimiento vegetativo en Tepic fue aparentemente continuo, y requirió de casi 166 días para completarse (comparado con 118 días en Compostela, una región con temperaturas globales más altas) (Cuadro 2). Aunque los informes sobre la duración del crecimiento vegetativo en *A. muricata* L. son escasos y no son estrictamente comparables con los de este estudio, también se observan plazos similares a los de Tepic (182 días) en *Annona squamosa* L. (Liu et al., 2015).

De acuerdo con Yamarte et al. (2006), el crecimiento y la ramificación disminuyen durante los periodos de sequía, y la formación de brotes ocurre principalmente durante la estación de lluvias. Sin embargo, se observó que el crecimiento activo de las yemas vegetativas

Table 3. Phenological stages of soursoap (*Annona muricata* L.) cultivated in two regions of Nayarit, Mexico. 2016-2017*.Cuadro 3. Estadios fenológicos de guanábana (*Annona muricata* L.) cultivada en dos regiones de Nayarit, México. 2016-2017*.**Stage 0: Bud development****First vegetative flush (mesostage 1)**

- 010** Dormancy: buds are completely closed and covered by green-brown scales. A small ostiole (<2 mm in diameter) is visible.
- 011** Leaf bud swelling starts: buds begin to swell and are more visible.
- 013** Leaf bud swelling ends: bud scales are completely separated, lighter sections of the inner bud scales are visible.
- 017** Bud burst starts: The apices of the leaves begin to be visible.
- 019** Bud burst ends: shoot apices about 5 mm long are clearly visible above bud scales.

Stage 1: Leaf development**First vegetative flush (mesostage 1)**

- 110** First leaves start to separate: green scales slightly open.
- 111** First leaves unfolded: first leaves visible and separated.
- 115** More leaves unfolded: petioles become visible.
- 117** First leaves completely expanded.
- 119** All leaves unfolded and completely expanded.

Stage 3: Shoot development**First vegetative flush (mesostage 1)**

- 311** Shoot growth starts: approximately 10 % of their final length, axes become visible.
- 313** Shoots are approx. 30 % of their final length.
- 315** Shoots are approx. 50 % of their final length.
- 317** Shoots are approx. 70 % of their final length.
- 319** Shoots are approx. 90 % of their final length.

Stage 5: Flower emergence in stems and branches**Principal flowering (mesostage 1)**

- 510** Inflorescence bud swelling: buds closed and covered with yellow scales, without peduncle.
- 514** Petals begin to elongate.
- 515** Petals continue to elongate.
- 517** Flowers still closed, but the petals continue to elongate.
- 519** Most flowers closed, with fully elongated petals.

Stage 6: Flowering on stems and branches**Principal flowering (mesostage 1)**

- 610** First flowers open: petals begin to separate.
- 611** Flowers partially opened.
- 613** Early flowering: about 30 % of the flowers opened.
- 615** Full flowering: more than 50 % of the flowers are completely opened.
- 617** Flower fading: most of the petals fall off or dry out.
- 619** Flowering ends: all petals have fallen off or dried out.

Estadio 0: Desarrollo de yemas**Primer brote vegetativo (mesoestadio 1)**

- 010** Dormancia: las yemas están completamente cerradas y cubiertas por escamas verde-parduzcas. Un pequeño ostiolo (<2 mm de diámetro) es perceptible.
- 011** El llenado de las yemas comienza: las yemas comienzan a llenar y son más visibles.
- 013** El llenado de las yemas termina: las escamas de las yemas están completamente separadas, y las secciones más claras de las escamas internas de las yemas son visibles.
- 017** Inicia la apertura de las yemas: Los ápices de las hojas inician a ser visibles.
- 019** Termina la apertura de las yemas: los ápices de los brotes de aproximadamente 5 mm son claramente visibles sobre las escamas de las yemas.

Estadio 1: Desarrollo foliar**Primer brote vegetativo (mesoestadio 1)**

- 110** Las primeras hojas comienzan a separarse: escamas verdes ligeramente abiertas.
- 111** Primeras hojas desdobladas: las primeras hojas visibles y separadas.
- 115** Más hojas desdobladas: los peciololes se tornan visibles.
- 117** Primeras hojas completamente expandidas.
- 119** Todas las hojas desdobladas y completamente expandidas.

Estadio 3: Desarrollo de brotes**Primer brote vegetativo (mesoestadio 1)**

- 311** Inicia el crecimiento de los brotes: aproximadamente 10 % de su longitud final, y las axilas comienzan a ser visibles.
- 313** Los brotes tienen aproximadamente 30 % de su longitud final.
- 315** Los brotes tienen aproximadamente 50 % de su longitud final.
- 317** Los brotes tienen aproximadamente 70 % de su longitud final.
- 319** Los brotes tienen aproximadamente 90 % de su longitud final.

Estadio 5: Emergencia de flores en tallos y ramas**Floración principal (mesoestadio 1)**

- 510** Llenado del brote de inflorescencia: los brotes están cerrados y cubiertos con escamas amarillas, sin pedúnculo.
- 514** Los pétalos comienzan a alargarse.
- 515** Los pétalos continúan alargándose.
- 517** Las flores siguen cerradas, pero los pétalos continúan alargándose.
- 519** La mayoría de las flores están cerradas, con pétalos completamente alargados.

Estadio 6: Floración en tallos y ramas**Floración principal (mesoestadio 1)**

- 610** Las primeras flores abren: los pétalos inician a separarse.
- 611** Flores parcialmente abiertas.
- 613** Floración temprana: cerca de 30 % de las flores abrieron.
- 615** Floración completa: más de 50 % de las flores están completamente abiertas.
- 617** Desvanecimiento de flores: la mayoría de los pétalos caen o se secan.
- 619** La floración termina: todos los pétalos han caído o se han secado.

*Description of growth stages are illustrated with photographs in Figure 3.

*La descripción de los estadios de crecimiento está ilustrada con fotografías en la Figura 3.

Table 3. Phenological stages of soursop (*Annona muricata* L.) cultivated in two regions of Nayarit, Mexico. 2016-2017*. (cont.)Cuadro 3. Estadios fenológicos de guanábana (*Annona muricata* L.) cultivada en dos regiones de Nayarit, México. 2016-2017*. (cont.)**Stage 7: Fruit development on stems and branches****Main season of fruit development (mesostage 1)**

711 Fruit set: ovary growth starts.

712 Fruit growth: approximately 10 % of its final size with green pericarp visible; round, oval, conical or heart-shaped

713 Fruit is approximately 30 % of its final size.

715 Fruit is approximately 50 % of its final size.

717 Fruit is approximately 70 % of its final size.

719 Fruit is approximately 90 % of its final size.

Stage 8: Maturity of the fruit on stems and branches.**Main season of fruit development (mesostage 1)**

815 Fruit ripening starts: average size is reached (full fruit), green opaque color and seeds become black.

819 Fruit ripening is completed: the typical rind color, firmness and flavor (taste and aroma) are acquired.

Stage 9: Senescence of branches**Principal vegetative flush (mesostage 1)**

912 Senescence starts: old leaves begin to fall.

915 Senescence continues: fall of the leaves increases.

917 Most of the leaves have fallen.

Estadio 7: Desarrollo del fruto en tallos y ramas**Temporada principal de desarrollo de fruto (mesoestadio 1)**

711 Amarre del fruto: el crecimiento del ovario inicia.

712 Crecimiento del fruto: aproximadamente 10 % de su tamaño final con pericarpio verde visible; redondo, ovalado, cónico o con forma de corazón.

713 El fruto se encuentra en aproximadamente 30 % de su tamaño final.

715 El fruto se encuentra en aproximadamente 50 % de su tamaño final.

717 El fruto se encuentra en aproximadamente 70 % de su tamaño final.

719 El fruto se encuentra en aproximadamente 90 % de su tamaño final.

Estadio 8: Madurez del fruto en tallos y ramas.**Temporada principal de desarrollo de fruto (mesoestadio 1)**

815 La maduración del fruto comienza: el tamaño promedio se alcanza (fruto completo), color verde opaco y las semillas se tornan negras.

819 La maduración del fruto está completada: se alcanzan el típico color de la corteza, la firmeza y el sabor (gusto y aroma).

Estadio 9: Senescencia de las ramas**Desprendimiento vegetativo principal (mesoestadio 1)**

912 Inicia la senescencia: las hojas viejas comienzan a caer.

915 La senescencia continúa: la caída de las hojas incrementa.

917 La mayoría de las hojas han caído.

*Description of growth stages are illustrated with photographs in Figure 3.

*La descripción de los estadios de crecimiento está ilustrada con fotografías en la Figura 3.

vegetative buds during the dry season (i.e. from January to May; Figure 2). Cruz-Castillo et al. (2002) indicate that in Puerto Rico the growth of the branches is continuous during the months of January and August; this is similar to what was found in the present work. These authors mention the hypothesis that the greater partition of carbohydrates in soursop is not directed towards the formation of fruits, but towards vegetative growth, which is observed in excessive vegetative growth of this species.

On the other hand, the percentage of floral structures decreased slightly in both Compostela and Tepic from November to January, though they later remained stable until June. At this point, they began to increase reaching a peak in September before decreasing once more (Figure 4B). Significant differences between both orchards were detected only in the last four months (August-November), with higher percentages in Compostela ($P \leq 0.05$). Overall, the period from the emergence of floral buds (stage 5) to the end of flowering (stage 6) lasted 174-189 days in both orchards (Table 2); however, Yamarte et al. (2004) report only 98 days from the time of floral differentiation until

ocurrió durante la estación seca (de enero a mayo; Figura 2). Cruz-Castillo et al. (2002) indican que en Puerto Rico el crecimiento de las ramas es continuo durante los meses de enero y agosto; similar a lo obtenido en el presente trabajo. Dichos autores plantean la hipótesis de que la mayor partición de carbohidratos en el guanábano no está dirigida a la formación de frutos, sino al crecimiento vegetativo, lo cual se observa en su excesivo crecimiento vegetativo.

Por otro lado, el porcentaje de estructuras florales disminuyó ligeramente en ambas localidades de noviembre a enero, posteriormente se mantuvieron estables hasta junio y después comenzaron a aumentar hasta alcanzar un máximo en septiembre, antes de volver a disminuir (Figura 4B). Sólo se detectaron diferencias significativas entre ambas huertas en los últimos cuatro meses (agosto-noviembre), con mayores porcentajes en Compostela ($P \leq 0.05$). En general, el periodo desde la aparición de las yemas florales (estadio 5) hasta el final de la floración (estadio 6) duró de 174 a 189 días en ambas huertas (Cuadro 2). Por el contrario, Yamarte et al. (2004) informan 98 días desde el momento de la diferenciación floral hasta el amarre



Figure 3. The eight main phenological stages of soursop (*Annona muricata* L.) as determined with the extended BBCH-scale. The trees were cultivated in orchards located in Compostela and Tepic, state of Nayarit, Mexico.

Figura 3. Estadios fenológicos principales de guanábana (*Annona muricata* L.) determinados con la escala BBCH extendida. Los árboles fueron cultivados en huertas ubicadas en Compostela y Tepic, Nayarit, México.

fruit setting (i.e. also in ungrafted soursop trees). Cruz-Castillo et al. (2002) and, Rosas and Becerra (2012) note that 31-90 days are necessary from the beginning of floral bud development until the start of anthesis. This discrepancy in the duration of flowering could be a result of the age of the trees themselves, their access to minerals and nutrition, and to water relations (Avilán-Rovira, Leal-Pinto, & Bautista-Arellano, 1992).

Falcão et al. (1982) report the presence of flowers throughout most of the year in soursops cultivated in Brazil, with a greater occurrence from September-January. Similarly, in Zulia (Venezuela) peak flowering

del fruto en guanábanos sin injertar. Cruz-Castillo et al. (2002) y Rosas y Becerra (2012) señalan que se requieren de 31 a 90 días desde el inicio del desarrollo de la yema floral hasta el comienzo de la antesis. Esta discrepancia en la duración de la floración podría ser resultado de la edad de los árboles, el acceso a los minerales, la nutrición y las relaciones hídricas (Avilán-Rovira, Leal-Pinto, & Bautista-Arellano, 1992).

Falcão et al. (1982) reportan la presencia de flores durante la mayor parte del año en guanábanos cultivados en Brasil, con una mayor ocurrencia de septiembre a enero. Asimismo, en Zulia (Venezuela),

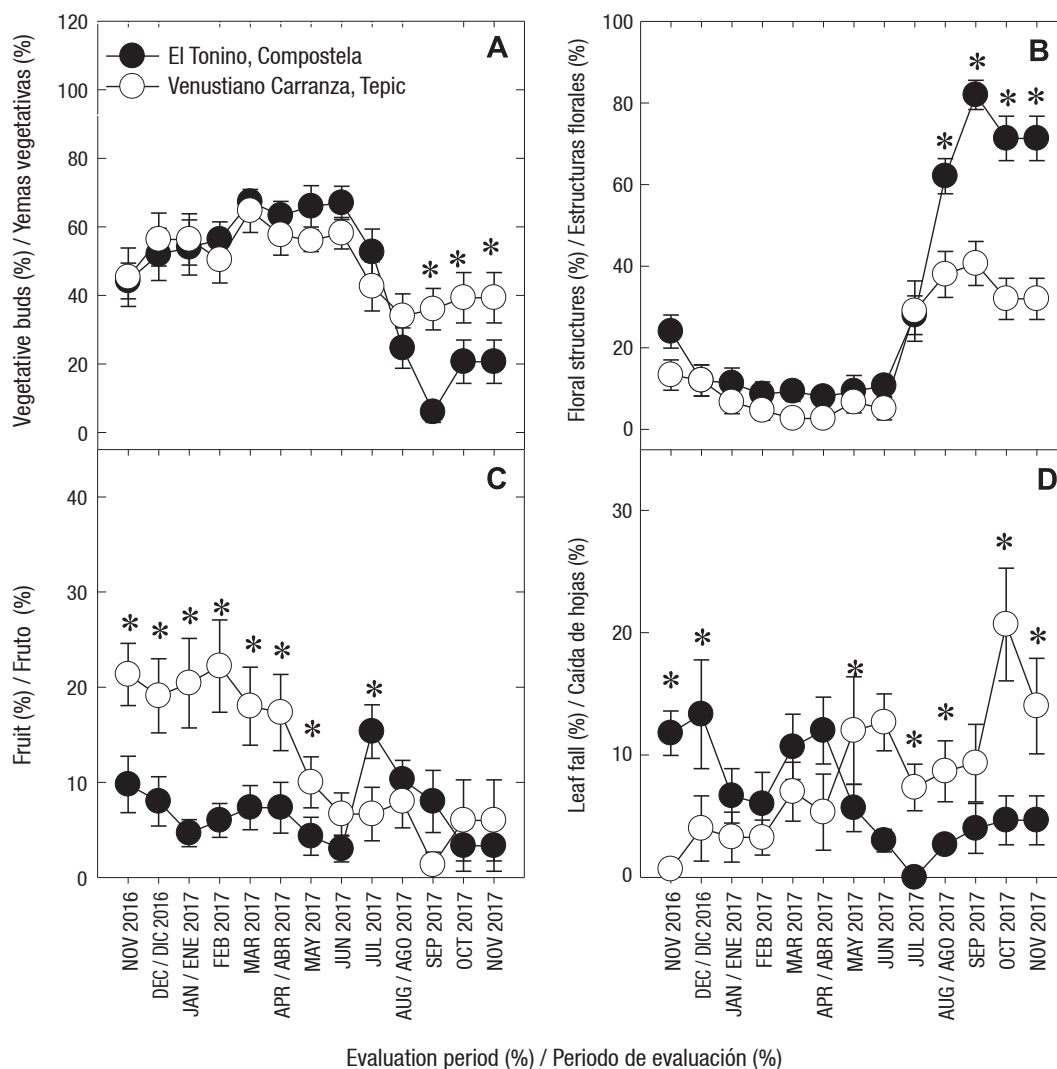


Figure 4. Year-long progress of the phenological stages in soursop trees (*A. muricata* L.). The trees were cultivated in two regions of the state of Nayarit, Mexico (Tepic and Compostela). Vegetative buds (A), floral structures (B), fruit growth (C), defoliation (D). * Significant differences ($P \leq 0.05$) between regions according to the least significant difference test.

Figura 4. Progreso de las etapas fenológicas en árboles de guanábana (*A. muricata* L.) durante un año. Los árboles se cultivaron en dos regiones de Nayarit, México (Tepic y Compostela): A) Yemas vegetativas, B) estructuras florales, C) crecimiento de fruto y D) defoliación. *Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre regiones de acuerdo con la prueba de diferencia mínima significativa.

occurs at the end of the rainy season (July-August) (Yamarte et al., 2004), while in Veracruz (Mexico) two main periods of increased production are present: one from May-July and the other from September-November (Rosas & Becerra, 2012). For their part, Escobar, Zarate, and Bastida (1986) note that flowering in humid regions occurs from November-May, while in drier climates it takes place from June-August.

In this study, we additionally found a positive correlation between average temperature and the presence of floral structures in soursops from Compostela ($r = 0.56^*$), suggesting that flowering might also be favored by warm climates. This is not

el pico de floración ocurre al final de la temporada de lluvias (julio-agosto) (Yamarte et al., 2004), mientras que en Veracruz (México) se presentan dos períodos principales de producción elevada: uno de mayo a julio y otro de septiembre a noviembre (Rosas & Becerra, 2012). Por su parte, Escobar, Zárate y Bastida (1986) señalan que la floración en regiones húmedas ocurre de noviembre a mayo, mientras que en climas más secos se da de junio a agosto.

En este estudio, se obtuvo una correlación positiva entre la temperatura media y la presencia de estructuras florales en guanábanos de Compostela ($r = 0.56^*$), lo cual sugiere que la floración podría ser favorecida por climas

unreasonable, as 25-28 °C temperatures do appear to favor this process in *A. muricata* L. (Yamarte et al., 2004), and the average temperature in Compostela fluctuated between 26.7 and 28.2 °C from August-November (Figure 1A), coinciding with the greatest number of flowers (Figure 4B). Generally, flowering is observed year-round in Nayarit due to: 1) the presence of favorable temperatures across the state (including those in Tepic and Compostela) and 2) the overlap of phenological stages (e.g. flowering, fruit development, fruit maturity) in genetically-variable, seed-propagated trees (Hernández-Fuentes et al., 2017).

In both orchards, the period from fruit setting to physiological maturity took 114 d on average (Table 2). Similar times are also reported in Colombia (100 d) for this same phenological period (Escobar et al., 1986), with the difference again residing in the age of the trees themselves, their varietal character, and the specific location of the fruit evaluated (among various other environmental factors). Likewise, Rosas and Becerra (2012) note 77-174 d from the time of fruit setting to harvest in 10 selections of *A. muricata* L. from Veracruz (Mexico), whereas in Manaus (Brazil), the main fructification period occurs from January-March (Falcão et al., 1982). In this last case, fructification times are likely linked to local climatic factors, especially the water regiment.

Defoliation occurred during the entire study period. For instance, from November 2016 to January 2017, percentages were highest in Compostela, while from February-March they were comparable between the two regions. This trend later reversed, however, with Tepic attaining the highest values (Figure 4D). Falcão et al. (1982) also note year-round defoliation in *A. muricata* L., with higher intensities from January-March. Likewise, Nascimento et al. (2002) report leaves falling year-round, though in this case, the periods of highest intensity are February-April and October-November. Generally, defoliation is attributed to low temperatures and a lack of water (Nascimento et al., 2002). In the latter's case (lack of water), Falcão et al. (1982) and Nascimento et al. (2002) agree that the periods of highest intensity overlap with the dry season (though this climatic condition is also intrinsically prompted by lower temperatures). Indeed, in the present work, senescence was negatively correlated with both lower precipitation ($r = 0.76^{**}$) and RH ($r = 0.74^{**}$).

Phytosanitary pruning should therefore occur from May-July (after the main fruiting period harvest), followed by the application of contact fungicides as this would limit the development of certain diseases. The latter would especially be necessary in regions like Compostela, where *A. muricata* L. trees grow surrounded by leaf litter and fallen fruit, potentially exposing them to warm, humid, and poorly ventilated environments

cálidos. Según Yamarte et al (2004), las temperaturas de 25 a 28 °C favorecen dicho proceso en *A. muricata* L., y la temperatura promedio en Compostela osciló entre 26.7 y 28.2 °C de agosto a noviembre (Figura 1A), coincidiendo con un mayor número de flores (Figura 4B). En general, la floración se observa durante todo el año en Nayarit debido a la presencia de temperaturas favorables en todo el estado (incluyendo las de Tepic y Compostela) y al traslape de las etapas fenológicas (floración, desarrollo del fruto y madurez del fruto) en árboles genéticamente variables y propagados por semilla (Hernández-Fuentes et al., 2017).

En ambas huertas, el período desde el amarre de los frutos hasta la madurez fisiológica duró 114 días en promedio (Cuadro 2). En Colombia se reportan tiempos similares (100 días) en el mismo periodo fenológico (Escobar et al., 1986); la diferencia reside en la edad de los árboles, la variedad, la ubicación específica de los frutos evaluados y los factores ambientales. Rosas y Becerra (2012) reportan de 77 a 174 días desde el momento del amarre de fruto hasta la cosecha en 10 selecciones de *A. muricata* L. de Veracruz (México), mientras que en Manaus (Brasil) el principal periodo de fructificación se produce entre enero y marzo (Falcão et al., 1982). En este último caso, los tiempos de fructificación están ligados probablemente a factores climáticos locales, especialmente al régimen hídrico.

La defoliación se produjo durante todo el periodo de estudio. De noviembre de 2016 a enero de 2017, los porcentajes fueron más altos en Compostela, mientras que de febrero a marzo fueron similares en ambas regiones. Sin embargo, esta tendencia se invirtió de mayo a noviembre, al alcanzar Tepic los valores más altos (Figura 4D). Falcão et al. (1982) observaron una defoliación similar en *A. muricata* L., con mayor intensidad de enero a marzo. Nascimento et al. (2002) también reportan caída de hojas durante todo el año, aunque en este caso los periodos de mayor intensidad fueron de febrero a abril y de octubre a noviembre. En general, la defoliación se atribuye a las bajas temperaturas y a la falta de agua (Nascimento et al., 2002). En el caso de falta de agua, Falcão et al. (1982) y Nascimento et al. (2002) coinciden en que los periodos de mayor intensidad se traslapan con la estación seca, aunque esta condición climática también está intrínsecamente provocada por las bajas temperaturas. De hecho, en el presente trabajo, la senescencia se correlacionó negativamente tanto con las menores precipitaciones ($r = 0.76^{**}$) como con la HR ($r = 0.74^{**}$).

Considerando lo anterior, la poda fitosanitaria se debería realizar entre mayo y julio, después de la cosecha del periodo principal de fructificación, con la aplicación subsecuente de fungicidas de contacto, lo cual limitaría el desarrollo de enfermedades. Esto último es necesario en regiones como Compostela, donde los árboles de

(Hernández-Fuentes et al., 2017; Anaya-Dyck et al., 2021). On the other hand, irrigation applied during flowering, fruit development, or the dry season, would increase fruit yields and quality, as well as avoid the severe defoliation that occurs in rainfed orchards as a result of water stress (Hernández-Fuentes et al., 2017). Light defoliation by chemical agents would likewise increase yields, especially if applied at the beginning of the dry season or as needed in times of low production (Cruz-Castillo & Cedeño-Maldonado, 1989).

Lastly, manual pollination of receptive stigmas (spanning anthesis to stigma fall) using pollen from semi- or fully-open flowers would help standardize fruit size and shape (Escobar et al., 1986), facilitating postharvest management. This could also replace natural pollination (either by autogamy or by insects such as beetles) which, despite being inefficient, still persists in many regions (e.g. Compostela).

Conclusions

Eight phenological stages of *Annona muricata* L., cultivated in two of the most important production regions in the world, are quantified and described here for the first time. For this purpose, the extended BBCH-scale was used, which was designed specifically for this type of work. Despite the similarity of climatic conditions, the phenological behavior of trees varied in terms of vegetative growth (166 d in Tepic vs 118 d in Compostela) and in the presence of floral structures (higher percentages in Compostela).

Acknowledgments

The authors would like to thank SEP-PRODEP for the postdoctoral fellowship granted to José Orlando Jiménez-Zurita (DSA/103.5/16/12310) as well as the “Fondo Sectorial de Investigación para la Educación” for providing part of the funds for this work (Grant No. CB-2014-01/242718).

End of English version

References / Referencias

- Anaya-Dyck, J. M., Hernández-Oñate, M. A., Tafolla-Arellano, J. C., Báez-Sañudo, R., Gutiérrez-Martínez, P., & Tiznado-Hernández, M. E. (2021). Sour sop productive chain: An economic development option for Compostela, Nayarit. *Estudios Sociales, Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 31(57), 211048. doi: 10.24836/es.v30i56.1048
- Andrés-Agustín, J., & Andrés-Hernández, L. (2011). *Biología, diversidad, conservación y uso sostenible de los recursos genéticos de Annonaceae en México*. Chapingo, Edo. de México: Universidad Autónoma Chapingo.

A. muricata L. crecen rodeados de hojarasca y frutos caídos, lo cual los expone a ambientes cálidos, húmedos y mal ventilados propicios para el desarrollo de enfermedades (Hernández-Fuentes et al., 2017; Anaya-Dyck et al., 2021). Por otro lado, el riego aplicado durante la floración, el desarrollo del fruto o la estación seca aumentaría el rendimiento y la calidad del fruto, además de evitar la defoliación severa que se presenta en las huertas de temporal como consecuencia del estrés hídrico (Hernández-Fuentes et al., 2017). La defoliación ligera mediante agentes químicos aumentaría los rendimientos, sobre todo si se aplica al inicio de la estación seca o según sea necesario en temporadas de baja producción (Cruz-Castillo & Cedeño-Maldonado, 1989).

Por último, la polinización manual de los estigmas receptivos (que abarca desde la antesis hasta la caída del estigma) con polen de flores semi- o totalmente abiertas, ayudaría a estandarizar el tamaño y la forma de los frutos (Escobar et al., 1986), lo cual facilitaría el manejo poscosecha. Esto también podría sustituir a la polinización natural (ya sea por autogamia o por insectos como los escarabajos), que, a pesar de ser ineficiente, persiste en muchas regiones como en Compostela.

Conclusiones

Se cuantificaron y describieron por primera vez ocho estadios fenológicos de *Annona muricata* L., cultivada en dos regiones de importancia a nivel mundial. El análisis se realizó con la escala BBCH extendida, que fue diseñada específicamente para este tipo de trabajos. A pesar de la similitud en las condiciones climáticas, el comportamiento fenológico de los árboles varió en cuanto al crecimiento vegetativo (166 días en Tepic frente a 118 días en Compostela) y en cuanto a la presencia de estructuras florales (porcentajes mayores en Compostela).

Agradecimientos

Los autores agradecen al SEP-PRODEP por la beca posdoctoral otorgada a José Orlando Jiménez-Zurita (DSA/103.5/16/12310), así como al “Fondo Sectorial de Investigación para la Educación” por aportar parte de los recursos para este trabajo (beca núm. CB-2014-01/242718).

Fin de la versión en español

- Avilán-Rovira, L., Leal-Pinto, F., & Bautista-Arellano, D. (1992). *Manual de fruticultura. Principios y manejo de la producción*. Caracas, Venezuela: Editorial América.
- Berumen-Varela, G., Hernández-Oñate, M. A., & Tiznado-Hernández, M. E. (2019). Utilization of biotechnological tools in sour sop (*Annona muricata* L.). *Scientia Horticulturae*, 245, 269-273. doi: 10.1016/j.scienta.2018.10.028
- Cárdenas-Torres, L. F. (2002). Influencia de la humedad relativa en la receptividad del estigma de guanábana (*Annona*

- muricata* L.) en el Guamo (Tolima). *Revista Colombiana Forestal*, 7(15), 69-78. doi: 10.14483/2256201X.3308
- Castillo-Márquez, L. E. (2011). *Introducción al SAS® para Windows*. Chapingo, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Cautín, R., & Agustí, M. (2005). Phenological growth stages of the cherimoya tree (*Annona cherimola* Mill.). *Scientia Horticulturae*, 105(4), 491-497. doi: 10.1016/j.scienta.2005.01.035
- Coria-Téllez, A. V., Montalvo-González, E., & Obledo-Vázquez, E. N. (2018). Soursoap (*Annona muricata*). In: Yahia, E. M. (Ed.), *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health* (pp. 1243-1252). Chichester, UK: Wiley-Blackwell. doi: 10.1002/9781119158042.ch66
- Cruz-Castillo, J. G., & Cedeño-Maldonado, A. (1989). Tratamientos de defoliación y crecimiento, floración y producción del guanábano (*Annona muricata* L.). *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 73(2), 141-148.
- Cruz-Castillo, J. G., Torres-Lima, P. A., Delgado-Matus, J. C., Domínguez-Martínez, V., Martínez-Pérez, D., & Franco-Mora, O. (2002). *El guanábano. Agronomía y usos de frutales tropicales*. Chapingo, Edo. de México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Escobar, T.W., Zarate, R. D., & Bastida, A. (1986). Biología floral y polinización artificial del guanábano (*Annona muricata* L.) en condiciones del Valle de Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 36(1), 7-20. Retrieved from <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/28691/14650-46638-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Falcão, M. A., Lleras, E., & Leite, A. M. (1982). Aspectos fenológicos, ecológicos e de produtividade da graviola (*Annona muricata* L.) na região de Manaus. *Acta Amazonica*, 12(1), 27-32. doi: 10.1590/1809-43921982121027
- Hernández-Fuentes, L. M., Gómez-Jaimes, R., & Andrés-Agustín, J. (2013). *Importancia, plagas insectiles y enfermedades fungosas del cultivo de guanábano*. Nayarit. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/270452891_importancia_plagas_insectiles_y_enfermedades_fungosas_del_cultivo_de_guanabana
- Hernández-Fuentes, L. M., Nolasco-González, Y., & Cruz-Gutiérrez, E. J. (2017). *Selección y caracterización de guanábano y recomendaciones para su manejo agronómico*. Nayarit, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Retrieved from <https://docplayer.es/94946361-Seleccion-y-caracterizacion-de-guanabana-y-recomendaciones-para-su-manejo-agronomico.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Nayarit 2017*. Aguascalientes, México: INEGI. Retrieved from http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825092054.pdf
- Liu, K., Li, H., Yuan, C., Huang, Y., Chen, Y., & Liu, J. (2015). Identification of phenological growth stages of sugar apple (*Annona squamosa* L.) using the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae*, 181, 76-80. doi: 10.1016/j.scienta.2014.10.046
- Meier, U., Bleiholder, H., Burh, L., Feller, C., Hack, H., Heb, M., Lancashire, P. D., Schnock, U., Satub, R., Van den Boom, T., & Weber, Z. P. (2009). The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants- history and publications. *Journal Für Kulturpflanzen*, 61, 41-51. doi: 10.5073/jfK.2009.02.01
- Nakasone, H., & Paull, R. (1998). *Tropical fruits*. London: CAB International.
- Nascimento, T. B., Filho, A. B., & Santos, J. A. (2002). Fenología da graviolera (*Annona muricata*) em área de cerrado do Amapá, Brasil. *Acta Amazonica*, 32(3), 367-376. doi: 10.1590/1809-43922002323376
- Pinto, A. C., Cordeiro, M. C., de Agrade S. R., Ferrereira, F. R., Filgueiras, H., Alves, R. E., & Kinpara, D. I. (2005). *Annona Species*. Southampton: International Centre for Underutilized Crops, University of Southampton. Retrieved from https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08c6640f0b652dd0012e6/R7187_-_Annona_monograph_-_revised.pdf
- Rosas, G. X., & Becerra, E. N. (2012). *Manual de producción de guanábano (*Annona muricata* L.)*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Serrano, M., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., & Valero, D. (2005). Chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry at different ripening stages. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 53, 2741-2745. doi: 10.1021/jf0479160
- Servicio de Información Agrícola y Pesquera (SIAP). (2021). *Cierre de la Producción Agrícola*. Retrieved from <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2019). *Normales climatológicas por estado: Nayarit*. Retrieved from <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- Townend, J. (2002). *Practical statistics for environmental and biological scientists*. England: John Wiley.
- Yamarte, M., Avilán, L., Marín, M., Rendiles, E., Tales, M. J., Solarte, J., & Maldonado, R. (2004). Fenología floral del guanábano (*Annona muricata* L.) injertado sobre combinaciones de patrones y a pie franco. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 21(1), 91-101. Retrieved from <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26524>
- Yamarte, M., Marín M., Bautista, D., & Avilán, L. (2006). Características del crecimiento de las ramas del guanábano (*Annona muricata* L.) bajo las condiciones de un bosque muy seco tropical. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(1), 1-16. Retrieved from <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26595>