

FENOLOGÍA REPRODUCTIVA, RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FRUTO DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus* (How.) Britton and Rose) EN EL VALLE DE CULIACÁN, SINALOA, MÉXICO

REPRODUCTIVE PHENOLOGY, YIELD AND FRUIT QUALITY OF PITAHAYA (*Hylocereus undatus* (How.) Britton and Rose) IN CULIACAN VALLEY, SINALOA, MEXICO

Tomás Osuna-Enciso^{1*}, José B. Valdez-Torres¹, Josefa A. Sañudo-Barajas¹, Ma. Dolores Muy-Rangel¹, Sergio Hernández-Verdugo², Manuel Villarreal-Romero², José M. Osuna-Rodríguez²

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Unidad Culiacán. Carretera a El dorado, km 5.5. 80110. Culiacán, Sinaloa, México. ²Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera a Eldorado, km 17.5. Culiacán, Sinaloa, México. (osuna@ciad.mx).

RESUMEN

En Sinaloa, México, la irregularidad y escasez de las lluvias han disminuido la disponibilidad de agua en las presas y modificado el patrón de los cultivos. La pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton and Rose) demanda poca agua, se adapta a tipos diversos de suelo y es una opción en la reconversión de cultivos. El objetivo del estudio fue determinar el comportamiento fenológico reproductivo, la productividad y la calidad del fruto de la pitahaya en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. El estudio se realizó en 2008, 2009 y 2010, en una plantación de 2 ha de pitahaya plantada a 3.0×3.0 m de distancia, con densidad de 1111 plantas ha⁻¹ y sombra (irradiancia=420 W/m²) proporcionada por árboles de guamúchil [*Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth]. Las plantas tuvieron entre cinco y siete floraciones en el año, la floración inició en junio y concluyó en septiembre y octubre. El inicio de la floración se asoció con el incremento de la temperatura y humedad relativa; en verano, las flores llegaron a antesis en 2 semanas y en otoño en 3 semanas. Un comportamiento similar se observó en el desarrollo de los frutos; en verano el periodo de antesis a madurez fue de 4 semanas y en otoño el proceso duró 6 semanas. Los frutos fueron oblongos y con 372 a 638 g de peso del cual la pulpa ocupó entre 55.1 y 72.2 %. Los rendimientos en el tercer, cuarto y quinto año de edad del huerto fueron 10.9, 13.4 y 10 Mg ha⁻¹. Los frutos cumplieron con indicadores de calidad en color externo (14.4 H*), sólidos solubles totales (14 °Brix), acidez titulable (0.6 % de ácido málico) y relación sólidos/acidez (26.2). El rendimiento y

ABSTRACT

In Sinaloa, Mexico, irregularity and shortage of rainfall has decreased water availability in dams and modified crops pattern. The pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton and Rose) demands few amounts of water, is capable to adapt to different soil types and is an option for crop reconversion. The objective in this study was to determine the reproductive phenological behavior, productivity and quality of pitahaya fruits from the Culiacán Valley, Sinaloa, Mexico. This study was conducted throughout 2008, 2009 and 2010, on a 2 ha plantation of pitahayas planted 3.0×3.0 m away, with a density of 1111 plants ha⁻¹ and shade (irradiance=420 W m⁻²) provided by "Guamuchil" trees [*Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth]. Plants had between five and seven blooms in the year; flowering started in June and was completed during September and October. The flowering onset was associated with the temperature and relative humidity increase; in summer and autumn the flowers reached anthesis on 2 and 3 weeks. Similar behavior was observed in the fruit development; during the summer the period from anthesis to maturity was 4 weeks and in autumn the process lasted 6 weeks. Fruits were oblong and their weight ranged between 372 to 638 g, from which the pulp weighted between 55.1 and 72.2 %. Yields during the third, fourth and fifth years of the plantation were 10.9, 13.4 and 10 Mg ha⁻¹. The fruits met quality indicators of external color (14.4 H*), total soluble solids (14 °Brix), titratable acidity (0.6 % malic acid) and total soluble solids/titratable acidity ratio (26.2). Yield and physical and chemical characteristics of the fruit quality were similar to those of other producing regions in Mexico and abroad.

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: julio, 2014. Aprobado: septiembre, 2015.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 50: 61-78. 2016.

Key words: *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton and Rose, phenological stage, flowering cycle, anthesis, harvest, fruit quality.

las características físicas y químicas de calidad de los frutos fueron similares a los de otras regiones productoras del país y el extranjero.

Palabras clave: *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton and Rose, etapa fenológica, ciclos de floración, anthesis, cosecha, calidad de fruto.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Sinaloa, México, se han presentado problemas diversos en la agricultura, entre los más importantes está la irregularidad y escasez de las lluvias, que ha disminuido la disponibilidad de agua en las presas y modificado el patrón de los cultivos. Debido a que la pitahaya (*Hylocereus undatus*) demanda poca agua y se adapta a tipos diversos de suelo (Mizrahi *et al.*, 2007) es una opción para la reconversión de los cultivos (Castillo, 2006).

Las pitahayas pertenecen a la familia de las cactáceas y su distribución en México es amplia. Su importancia como cultivo se debe a la demanda de sus frutos en el mercado nacional e internacional (García y Quirós, 2010). El género *Hylocereus* tiene un potencial alto como ornamental y cultivo frutícola, puede ser una fuente de compuestos para uso industrial y su cultivo podría crear puestos de trabajo e ingresos al país (Ortiz y Castillo, 2012).

Las plantas de pitahaya son perennes y requieren soporte porque su morfología les impide sostenerse (Nerd *et al.*, 2002); son resistentes a la sequía y prosperan desde el nivel del mar hasta 1850 m, requieren temperaturas de 18 a 26 °C, con precipitaciones de 650 a 1500 mm anuales, y su desarrollo mejor se logra en climas cálidos subhúmedos (Cálix de Dios *et al.*, 2005). Las pitahayas florecen en verano durante el periodo de lluvias y pueden ocurrir entre cuatro y siete ciclos de floración en un periodo de 8 meses (Pushpakumara *et al.*, 2005). *Hylocereus undatus* requiere días largos para florecer (Jiang *et al.*, 2012) y según Mizrahi *et al.* (2002) en Israel se obtienen de uno a ocho ciclos de floración por temporada y algunas especies producen flores continuamente. En Brasil, Marques *et al.* (2011) distinguieron tres a cuatro ciclos de floración entre verano y otoño, y la precipitación y las temperaturas altas promueven la floración. Castillo *et al.* (2005) señalan que la floración coincide

INTRODUCTION

In the state of Sinaloa, Mexico, there have been various problems in agriculture, the most important been irregularity and lack of rainfall, which has reduced the water availability in dams and changed the crops pattern. Because the pitahaya plant (*Hylocereus undatus*) has low water requirements and adapts to different soil types (Mizrahi *et al.*, 2007), it is an option for crops conversion (Castillo, 2006).

Pitahayas belong to the cacti family, which distribution throughout Mexico is vast. Its importance as a crop is due to the demand for its fruits in both domestic and international markets (García and Quirós, 2010). The *Hylocereus* genus has a high potential as an ornamental and fruit crop plants, can be a source for industrial compounds and its cultivation could create jobs and increase the income to the country (Ortiz and Castillo, 2012).

Pitahaya plants are perennial and require mechanical support because their morphology prevents them from holding themselves (Nerd *et al.*, 2002); they are drought resistant and thrive between the sea level and up to 1850 m and require temperatures between 18 and 26 °C, rainfall between 650 to 1500 mm per year, and best development is achieved in sub-humid warm climates (Cálix de Dios *et al.*, 2005). Pitahayas bloom in summer during the rainy season and can have four to seven blooming cycles over an 8 months period (Pushpakumara *et al.*, 2005). *Hylocereus undatus* require long days to flower (Jiang *et al.*, 2012), and according to Mizrahi *et al.* (2002) in Israel one to eight blooming cycles are obtained by season and some species continuously produce flowers. In Brazil, Marques *et al.* (2011) distinguished three to four flowering cycles between summer and autumn, and that the rainfall and high temperatures promoted flowering. Castillo *et al.* (2005) reported that the blooming coincides with the beginning of the rainy season in May and lasts until September; during this time three flowering cycles happen. Besides, depending on the conditions of the region, each year can register four to six overlapping flowering cycles (Cálix de Dios *et al.*, 2005) (Figure 1).

At the stems margin, groups of three to five buds are formed, and between two and three of these reached anthesis in the next 17 d (Gunaseena *et al.*,

con el inicio del periodo de lluvias en mayo y se prolonga hasta septiembre, durante este tiempo se presentan tres ciclos de floración. Además, dependiendo de las condiciones de la región, cada año pueden registrarse de cuatro a seis ciclos de floración, que se traslapan (Cáliz de Dios *et al.*, 2005) (Figura 1).

En el margen de los tallos se forman grupos de tres a cinco botones florales y entre dos y tres llegan a antesis en los 17 d siguientes (Gunasena *et al.*, 2007). Según Jiang *et al.* (2011) hay siete ciclos de floración en pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en Taiwán. La flor de *H. undatus* es grande, con forma acampanulada, tubular, hermafrodita, blanca o rosada, mide de 20 a 35 cm de longitud y 34 cm de diámetro, con antesis nocturna (Barbeau, 1990). Centurión *et al.* (2008) describieron al fruto como una baya con forma elipsoidal a óvalo, con alrededor de 10 cm de diámetro y 12 cm de longitud; la cáscara varía de rojo a rojo-púrpura y está cubierta por brácteas carnosas (Figura 2).

El fruto de *H. undatus* no es climatérico, tiene pulpa blanca con semillas negras abundantes, y el número de sus semillas está correlacionado con el tamaño del fruto (Mizrahi *et al.*, 2002). En Israel y Vietnam el tiempo entre antesis y cosecha es de 28 a 30 d (Mizrahi *et al.*, 2002; To *et al.*, 2002), y



Figura 1. Plantas de pitahaya mantenidas en un sistema tipo “hilo telegráfico”, con traslape de flores y frutos en los ciclos de floración en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México.

Figure 1. Pitahaya plants kept in a type system “telegraph wire”, with flowers and fruits overlapping in cycles bloom in Culiacán Valley, Sinaloa, México.

2007). According to Jiang *et al.* (2011) there are seven cycles of flowering yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) in Taiwan. *Hylocereus undatus* flowers are big, bell-shaped, tubular, hermafrodite, white or pink, measuring 20 to 35 cm in length and 34 cm in diameter, with nocturnal anthesis (Barbeau, 1990). Centurion *et al.* (2008) described the fruit as an ellipsoidal to oval berry, with about 10 cm in diameter and 12 cm long; shell varies from red to red-purple and is covered by fleshy bracts (Figure 2).

The fruit of *H. undatus* is not climacteric, has white pulp with abundant black seeds, which number of seeds is correlated with its fruit size (Mizrahi *et al.*, 2002). In Israel and Vietnam the time between anthesis and harvest is 28 to 30 d (Mizrahi *et al.*, 2002; To *et al.*, 2002), and in California, USA, the process takes between 40 and 45 d (Merten, 2003). This is similar to that reported by Gunasena *et al.* (2007) in Sri Lanka. Centurion *et al.* (2008) stated that pitahaya fruit in Mexico reaches largest size (463.7 g) at 31 d after anthesis (daa), with 8.2 cm in diameter and 8.9 cm in length, a pulp/peel relationship of 3.9, firmness of 6.3 newtons, 0.4 % of titratable acidity (TA), expressed as percentage of malic acid at harvest, 12.6 total soluble solids (TSS), expressed in °Brix, and total soluble solids/titratable acidity ratio (TSS/TA) of 33.5. These authors assessed the characteristics in pitahaya fruits when the shell covering the fruit was all red (hue angle=51). In another study with *H. undatus*, Balois-Morales *et al.* (2013) obtained hue angle of 38 and TSS between 9 and 11 °Brix, whereas Esquivel and Araya (2012) reported between 7 and 11 °Brix and 0.31 to 0.36 % of TA in *H. undatus* fruits in Costa Rica.



Figura 2. Fruto de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México.

Figure 2. Pitaya fruit (*Hylocereus undatus*) in Culiacán Valley, Sinaloa, México.

en California, EE.UU., el proceso tarda entre 40 y 45 d (Merten, 2003), similar al documentado por Gunasena *et al.* (2007) en Sri Lanka. Centurión *et al.* (2008) afirmaron que el fruto de pitahaya en México adquiere el tamaño mayor (463.7 g) a los 31 d después de antesis (dda), con 8.2 cm de diámetro y 8.9 cm de longitud, relación pulpa/cáscara de 3.9, firmeza de 6.3 newtons, 0.4 % de acidez titulable (AT), expresada como porcentaje de ácido málico, en la cosecha, 12.6 de sólidos solubles totales, expresados en °Brix, y relación sólidos/acidez (RSA) de 33.5. Estos autores registraron las características en los frutos de pitahaya cuando el color rojo de la cáscara cubrió todo el fruto (Ángulo de matiz=51). En otro estudio con *H. undatus*, Balois-Morales *et al.* (2013) obtuvieron ángulo de matiz de 38 y 9 a 11 °Brix SST, mientras que Esquivel y Araya (2012) reportaron 7 a 11 de °Brix y entre 0.31 a 0.36 % de AT para frutos de *H. undatus* en Costa Rica.

Según Bárcenas *et al.* (2002), la temperatura base para el crecimiento de *Hylocereus* spp. es de 7 °C y la umbral máxima es de 40 °C. Estos autores indicaron que el estado de Sinaloa, México, presenta condiciones óptimas para el cultivo de pitahaya y sólo quedan fuera algunas zonas serranas con presencia de heladas. Nerd *et al.* (2002) reportaron que la temperatura máxima de 38 °C durante la etapa productiva de la pitahaya afecta la producción, y la adecuada para obtener el rendimiento máximo es 32 °C.

El rendimiento por hectárea de *H. undatus* depende del tipo de tecnología utilizada. En México, en un sistema tradicional, una planta produce 40 frutos con peso promedio de 250 g y el rendimiento puede ser 14 Mg ha⁻¹ desde el séptimo año (Rodríguez, 2000). El rendimiento en Israel es 16 Mg ha⁻¹ el segundo año de plantación en sistemas con tecnología avanzada, como casa sombra y fertirriego; mientras que en los campos vietnamitas las plantas maduras producen 30 Mg ha⁻¹. El rendimiento en Nicaragua es de 10 a 12 Mg ha⁻¹ al quinto año productivo (Merten, 2003).

El objetivo del presente estudio fue determinar el comportamiento fenológico reproductivo de la pitahaya (*H. undatus*), evaluar su productividad y calidad del fruto en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México.

According to Bárcenas *et al.* (2002), the base temperature for *Hylocereus* spp. to growth is 7 °C and their maximum threshold is 40 °C. These authors reported that the state of Sinaloa, Mexico, presents optimal conditions for growing pitahaya fruit with exception of some mountainous areas with frost. Nerd *et al.* (2002) pointed out that a maximum temperature of 38 °C during the reproductive stage of pitahaya production affects its yield and the optimum temperature for maximum yield is 32 °C.

The yield of *H. undatus* per hectare depends on the type of technology applied. In Mexico, in a traditional system, a plant will produce 40 fruits with an average weight of 250 g and the yield can be 14 Mg ha⁻¹ by its seventh year (Rodríguez, 2000). The yield in Israel is 16 Mg ha⁻¹ in the second year of planting in systems with advanced technology, such as shade and fertigation house; whereas in the Vietnamese fields mature plants produce 30 Mg ha⁻¹. Yield in Nicaragua is 10 to 12 Mg ha⁻¹ after the fifth year of production (Merten, 2003).

The aim of this study was to determine the phenologic and reproductive behavior of the pitahaya (*H. undatus*), assess its productivity and fruit quality in the Culiacán Valley, Sinaloa, Mexico.

MATERIALS AND METHODS

Location of experimental orchard

The study was conducted during 2008, 2009 and 2010 on a 2 ha pitahaya plantation. This had introduced plants from the state of Puebla, Mexico. Plants were separated 3.0×3.0 m and planting density was of 1111 plants per hectare, shaded (irradiance=420 W m⁻²) provided by guamúchil trees [*Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth.]. At the beginning of the study, the orchard was three years old. It is located 59 masl at the Amapas Ranch, Culiacán, Sinaloa, (24° 34' 56" N and 107° 16' 51" W).

According to the Köppen classification modified by García (1988), the climate in the Culiacán Valley is semiarid BSi(h)w(w) (e) and corresponds to warm dry weather with rains in summer and light rain in winter. Its annual average temperature is 24.9 °C, with 32.8 °C maximum and 17.1 °C minimum; the annual average relative humidity is 70 % with 75 % as a maximum in August and September and 64 % as minimum in April; the annual rainfall is 690 mm (Figure 3). Weather information was obtained from the Weather Station of the Culiacán Valley

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del huerto experimental

El estudio se realizó en 2008, 2009 y 2010 en una plantación de 2 ha de pitahaya, con plantas introducidas del estado de Puebla. Las plantas estaban separadas 3.0×3.0 m y la densidad de plantación era 1111 plantas por ha, con sombra (irradiación= 420 W/m^2) proporcionada por árboles de guamúchil [*Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth]. Al inicio del estudio el huerto tenía tres años de edad y se localiza a 59 msnm en el Rancho las Amapas, Culiacán, Sinaloa, ($24^\circ 34' 56'' \text{ N}$ y $107^\circ 16' 51'' \text{ O}$).

Según la clasificación de Köppen, modificada por García (1988), el clima en el Valle de Culiacán es semiárido $BS_1(h)w(w)(e)$ y corresponde a clima cálido seco con lluvias en verano y ligeras en invierno. La temperatura promedio anual es 24.9°C , con máxima de 32.8°C y mínima de 17.1°C ; la humedad relativa promedio anual es 70 % con máxima de 75 % en agosto y septiembre y mínima de 64 % en abril; la precipitación media anual es 690 mm (Figura 3). La información del clima se obtuvo de la Estación Climatológica del Campo Experimental Valle de Culiacán, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, localizada a 17.5 km del huerto de pitahaya.

Fenología reproductiva

El comportamiento fenológico reproductivo se obtuvo de una muestra de 20 plantas, con características uniformes. Durante los años 2008, 2009 y 2010 se registró la fecha de inicio

Experimental Field, from the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock, located 17.5 km from the pitahaya orchards.

Reproductive phenology

The reproductive phenology behavior was obtained from a 20 plants sample, with uniform characteristics. During 2008, 2009 and 2010 the starting date of flowering cycles was set when the meristem of reproductive areoles was observed to have a globular shape and had about 1.5 cm diameter and 2.0 cm length (Castillo and Ortiz, 1994). Also, the anthesis and harvesting dates were recorded to establish the flowers and fruits growth period.

Yield components

The number of flower per plant (data recorded at the anthesis) and the number of harvested fruits was quantified during each flowering cycles, the relation of number of flowers/number of fruit was calculated with the data. The yield per plant was obtained by the weight of harvested fruits using a scale (Torrey, PCR 40, México). The yield per flowering cycle was estimated by multiplying the average yield per plant value, and the product obtained by the planting density. The annual yield per hectare was obtained with the sum of the crops of the flowering cycles.

Physical and chemical characteristics of fruits

In a 20 plants sample during the 2009 and 2010 crop flowering cycles, 20 mature fruits were randomly selected

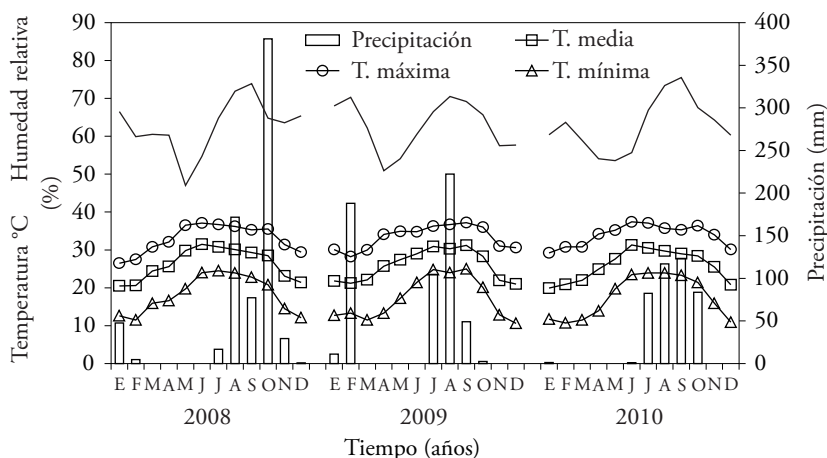


Figura 3. Temperatura, humedad relativa y precipitación mensual registradas en 2008, 2009 y 2010 en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México.

Figure 3. Temperature, relative humidity and monthly rainfall recorded in 2008, 2009 and 2010 in the Culiacán Valley, Sinaloa, México.

de los ciclos de floración, cuando el meristemo reproductivo de las areolas se observó de forma globular y tenía alrededor de 1.5 cm de diámetro y 2.0 cm de longitud (Castillo y Ortiz, 1994). Además se registraron las fechas de antesis y cosecha para obtener el periodo de crecimiento de las flores y los frutos.

Componentes del rendimiento

El número de flores emitidas por planta (dato registrado al momento de antesis) y el número de frutos cosechados se cuantificó en cada uno de los ciclos de floración, con los datos se calculó la relación número de flores/número de frutos. El rendimiento por planta se obtuvo de los frutos cosechados y pesados en una báscula (Torrey, PCR 40; México). El rendimiento por ciclo de floración se estimó multiplicando el valor promedio del rendimiento por planta, y el producto obtenido por la densidad de plantación. El rendimiento anual por hectárea se obtuvo con la sumatoria de las cosechas de los ciclos de floración.

Características físicas y químicas de los frutos

En una muestra de 20 plantas, en la cosecha de los ciclos de floración de 2009 y 2010 se tomaron al azar 20 frutos maduros (cáscara con 100 % de color rojo), se midió diámetro y longitud con un vernier digital (Calipper, DC002-300; México) y con los valores se calculó la relación longitud/diámetro. En el mismo grupo de frutos se midió el color externo con un colorímetro (Minolta CR-300; EE.UU.) y los resultados se expresaron en ángulo de matiz (H^*). La biomasa del fruto, la cáscara y la pulpa se registró en una balanza digital (Sartorius AND GF-2000; Alemania) y con estos valores se calculó el porcentaje de pulpa.

El análisis de acidez titulable (AT) y sólidos solubles totales (SST) se realizó con los métodos descritos por la AOAC (1998). En cada ciclo de fructificación se obtuvo una muestra de 20 frutos maduros y se licuaron 10 g de pulpa de cada fruto en 50 mL de agua destilada, la mezcla se filtró en tela de organza; en 50 mL del filtrado se determinó AT con un titulador (Mettler Toledo, DL-50; Suiza); los resultados se expresaron en porcentaje de ácido málico. Del residuo del filtrado se tomó una muestra para determinar el contenido de SST con un refractómetro (Mettler Toledo, RE40D; Suiza). Los valores de SST se obtuvieron considerando la dilución y se expresaron en °Brix. La relación sólidos/acidez (RSA) se obtuvo con los valores de ambas variables.

Análisis estadístico

Para las variables componentes del rendimiento el diseño experimental fue completamente al azar con un factor (año de

(100 % red shell), their diameter and length was measured with a digital vernier (Calipper, DC002-300, Mexico). The values were used to calculate the length/diameter ratio. In the same group of fruits, the external color was measured with a colorimeter (Minolta CR-300, USA) and the results were reported in hue angle (H^*). The fruit, peel and pulp biomass was recorded on a digital scale (Sartorial AND GF-2000; Germany). These results were used to calculate the pulp percentage.

Analysis of titratable acidity (TA) and total soluble solids (TSS) was performed following the methods set by the AOAC (1998). In each fruiting cycle a 20 ripe fruits sample was obtained and 10 g of each fruit pulp blended in 50 mL of distilled water. The mixture was filtered with organza fabric; TA was determined in 50 mL of the filtrate solution with a titrator (Mettler Toledo DL-50; Switzerland); results are reported as malic acid percentage. From the filtrate residue a sample was taken to determine the TSS content with a refractometer (Mettler Toledo, RE40D, Switzerland). TSS values were obtained considering the dilution and were expressed as Brix°. The total soluble solids/ titratable acidity ratio (TSS/TA) was obtained with the values of both variables.

Statistical analysis

For variables of yield components the experimental design was completely randomized with one factor (year of evaluation). Levels or treatments were 2008 (five cycles), 2009 (seven cycles) and 2010 (six cycles) flowering cycles. The experimental unit consisted on 20 plants. For the analysis of the physical and chemical variables of the fruit the design was completely randomized, the treatments were the 2009 (seven harvests) and 2010 (six harvests) crops. The experimental unit at each harvest date was 20 fruits obtained from a sample of 20 plants. With data of each variable an analysis of variance was performed independent for each year, and for significant differences between treatments, the effects were determined with the Tukey test ($p \leq 0.05$) and using Minitab 16 (Minitab, 2011).

RESULTS AND DISCUSSION

Reproductive phenology

In pitahaya plants buds appeared from the second half of June and end in September, on 2008 and 2010. In 2009 the first flowering occurred in the first week of July and the last began in early October (Table 1).

evaluación), los niveles o tratamientos fueron los ciclos de floración de 2008 (cinco ciclos), 2009 (siete ciclos) y 2010 (seis ciclos); la unidad experimental la constituyeron 20 plantas. Para el análisis de las variables físicas y químicas del fruto se utilizó el diseño completamente al azar, los tratamientos fueron las cosechas en 2009 (siete cosechas) y 2010 (seis cosechas). La unidad experimental en cada fecha de cosecha fue de 20 frutos obtenidos en una muestra de 20 plantas. Con los datos de cada variable se realizó análisis de varianza, independiente para cada año, y para efectos significativos se determinaron las diferencias entre tratamientos con la prueba Tukey ($p \leq 0.05$) y se usó Minitab 16 (Minitab, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología reproductiva

La emergencia de los botones florales en las pitahayas ocurrió a partir de la segunda quincena de junio y concluyó en septiembre en 2008 y 2010. En 2009 la primera floración ocurrió en la primera semana de julio y la última inició en los primeros días de octubre (Cuadro 1).

El retraso de la etapa reproductiva en 2009 puede deberse a que las temperaturas máximas y mínimas fueron menores que en 2008 y 2010 al inicio de la floración. De acuerdo con Gunasena *et al.* (2007) y Jaya (2010), *H. undatus* florece con temperaturas alrededor de 30 °C y humedad relativa alta. Nerd *et al.* (2002) señalaron que la humedad relativa adecuada en la etapa reproductiva de la pitahaya es 60 a 80 %. Además de la temperatura y humedad relativa, la pitahaya responde al fotoperiodo y la floración es inducida por días largos (Le Bellec *et al.*, 2006; Gunasena *et al.*, 2007; Jiang *et al.*, 2012). La información climatológica mostró el inicio de las lluvias e incremento de la temperatura y la humedad relativa en junio y julio (Figura 3), lo que coincidió con el inicio de la floración y el fotoperiodo largo de los días de verano en el Valle de Culiacán. Esto coincide con lo reportado para regiones productoras de pitahaya en México (Rodríguez, 2000; Meráz *et al.*, 2003; Calix *et al.*, 2005) y otros países (Gunasena *et al.*, 2007; Marques *et al.*, 2011).

Las plantas presentaron cinco, siete y seis ciclos de floración en 2008, 2009 y 2010. El periodo de floración duró entre 3.5 y 4 meses. En mayo y la primera semana de junio se observó emergencia

The delay in the reproductive stage in 2009 may be because the maximum and minimum temperatures were lower than in 2008 and 2010 at the beginning of flowering stage. According to Gunasena *et al.* (2007) and Jaya (2010), *H. undatus* blooms when temperatures are around 30 °C and relative humidity is high. Nerd *et al.* (2002) pointed out that the adequate relative humidity in the reproductive stage of the pitahaya is between 60 and 80 %. In addition to temperature and humidity, pitahaya responds to the photoperiod and flowering is induced by long days (Le Bellec *et al.*, 2006; Gunasena *et al.*, 2007; Jiang *et al.*, 2012). Climatological information showed the onset of rains, increased temperature and relative humidity in June and July (Figure 3), which coincided with the beginning of flowering and long photoperiod summer days in the Culiacán Valley. That is consistent with that reported for pitahaya producing regions in México (Rodríguez, 2000; Meráz *et al.*, 2003; Calix *et al.*, 2005) and other countries (Gunasena *et al.*, 2007; Marques *et al.*, 2011).

The plants had five, seven and six flowering cycles during 2008, 2009 and 2010 each. The flowering period lasted between 3.5 and 4 months. In May and the first week of June sporadic emergence of some flowers was observed, which were not quantified as flowering cycles (Table 1).

Pushpakumara *et al.* (2005) indicated that in Sri Lanka flowering occurs from April to November and sometimes extends to December, and presented four to seven flowering cycles. According to Le Bellec *et al.* (2006), in the northern hemisphere *H. undatus* blooms from May to October, and has five or six flowering cycles. Flowering occurs in Israel between May and November with one to eight cycles (Mizrahi and Nerd, 1999). In Oaxaca and Puebla, México, flowering coincides with the beginning of the rainy season in May and lasts until September and depending on weather conditions, each year between four to six overlapping blooming cycles can happen (Castillo *et al.*, 1996; Cáliz de Dios *et al.*, 2005). The phenology of the reproductive stage of the pitahayas in our study was similar to other regions of México (Castillo *et al.*, 1996; Cáliz de Dios *et al.*, 2005) and other countries (Mizrahi and Nerd, 1999; Le Bellec *et al.*, 2006).

The growth and development of the flower of the pitahaya since the exposure of the floral button until

Cuadro 1. Etapas fenológicas reproductivas de plantas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en los ciclos de floración 2008, 2009 y 2010 en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México.
Table 1. Reproductive phenological stages of pitahaya (*Hylocereus undatus*) plants in 2008, 2009 and 2010 flowering cycles in the Culiacán Valley, Sinaloa, México.

Ciclos de floración anual	Inicio de botón floral	Antesis	Cosecha	Días de botón floral a antesis	Días de antesis a cosecha
2008					
1	Jun 21	Jul 05	Ago 02	15	28
2	Jul 12	Jul 27	Ago 24	15	28
3	Ago 16	Ago 31	Sep 27	15	27
4	Ago 31	Sep 14	Oct 14	14	30
5	Sep 25	Oct 11	Nov 19	16	39
2009					
1	Jul 07	Jul 22	Ago 19	16	29
2	Jul 18	Ago 02	Sep 05	15	34
3	Jul 28	Ago 13	Sep 12	16	30
4	Ago 15	Sep 01	Sep 30	17	29
5	Sep 05	Sep 20	Oct 21	15	31
6	Sep 20	Oct 08	Nov 14	18	37
7	Oct 02	Oct 23	Dic 10	21	48
2010					
1	Jun 29	Jul 16	Ago 15	17	30
2	Jul 06	Jul 22	Ago 19	16	28
3	Jul 28	Ago 12	Sep 10	15	29
4	Ago 27	Sep 13	Oct 11	18	28
5	Sep 07	Sep 22	Oct 26	16	34
6	Sep 27	Oct 15	Nov 23	18	39

Jun: junio; Jul: julio; Ago: agosto; Sep: septiembre; Oct: octubre; Nov: noviembre; Dic: diciembre ❖ Jun: June; Jul: July; Aug: August; Sep: September; Oct: October.

esporádica de algunas flores, que no se cuantificaron como ciclos de floración (Cuadro 1).

Pushpakumara *et al.* (2005) indicaron que en Sri Lanka la floración se presenta de abril a noviembre y algunas veces se extiende a diciembre, y se presentan entre cuatro y siete ciclos de floración. Según Le Bellec *et al.* (2006), en el hemisferio norte *H. undatus* florece de mayo a octubre, y presenta cinco o seis ciclos de floración, y en Israel su floración ocurre entre mayo y noviembre con uno a ocho ciclos (Mizrahi y Nerd, 1999). En Oaxaca y Puebla, México, la floración coincide con el inicio del periodo de lluvias en mayo y se prolonga hasta septiembre y en dependencia de las condiciones climatológicas, cada año pueden registrarse de cuatro a seis ciclos de floración que se traslapan (Castillo *et al.*, 1996; Cáliz de Dios *et al.*, 2005). La fenología de la etapa reproductiva de las pitahayas en nuestro estudio fue similar al de otras regiones de México (Castillo *et al.*, 1996; Cáliz de Dios *et al.*,

the anthesis took 14 to 17 d in the summer flowering cycles. The ovary came to maturity within 27 to 34 daa. In the following blooms (autumn), it took up to 3 weeks for the anthesis, there after the ovary reached its maturity between 39 and 48 d (Table 1).

The longest for the ripening of fruits in the later blooming period was due to their growth coinciding with the drop in temperature between October and December (Figure 3). Several studies point out the influence of temperature on growth and fruit development in *H. undatus*. In warm weather conditions, between anthesis and harvest 28 to 31 d elapse (Mizrahi and Nerd, 1999; Nerd *et al.*, 2002; To *et al.*, 2002; Centurion *et al.*, 2008) and in temperate climate process occurs within 40 to 50 d (Merten, 2003; Pushpakumara *et al.*, 2005; Gunasena *et al.*, 2007). Both behaviors were observed in pitahaya plants in the Culiacán Valley. The harvest period began in summer (August) and concluded in autumn (November-December).

2005) y otros países (Mizrahi y Nerd, 1999; Le Bellec *et al.*, 2006).

El crecimiento y desarrollo de la flor de la pitahaya desde la exposición del botón floral hasta la antesis tomó de 14 a 17 d en los ciclos de floración de verano, y el ovario llegó a la madurez en 27 a 34 dda. En las floraciones siguientes (otoño), transcurrieron hasta 3 semanas para la antesis, después el ovario llegó a su madurez entre 39 y 48 d (Cuadro 1).

El periodo más largo para la maduración de los frutos en las floraciones más tardías se debió a que su crecimiento coincidió con el descenso de la temperatura, entre octubre y diciembre (Figura 3). Varios estudios señalan la influencia de la temperatura en el crecimiento y desarrollo del fruto de *H. undatus*. En clima cálido, entre antesis y cosecha transcurren 28 a 31 d (Mizrahi y Nerd, 1999; Nerd *et al.*, 2002; To *et al.*, 2002; Centurión *et al.*, 2008) y en clima templado ocurre de 40 a 50 d (Merten, 2003; Pushpakumara *et al.*, 2005; Gunasena *et al.*, 2007). Ambos comportamientos se observaron en las plantas de pitahaya en el Valle de Culiacán. El periodo de cosecha inició en verano (agosto) y concluyó en otoño (noviembre-diciembre).

Componentes del rendimiento

Flores y frutos por planta

El número de flores por planta fue diferente entre los años de evaluación. En 2009 se registraron 69.4 flores por planta y 44.5 y 35.2 en 2008 y 2010. Entre los ciclos de floración hubo diferencias significativas. En 2008 la floración se concentró en el segundo ciclo de floración (20.7 flores por planta), en 2009 en el tercero (36.5 flores por planta) y en 2010 el número mayor de flores se concentró en el segundo y el tercer ciclo de floración (12.5 y 12.6 flores por planta). El número menor de flores se observó en 2010, en el primero y el sexto ciclo de floración, con 0.5 y 0.3 flores por planta (Cuadro 2).

El número de flores por planta varió ampliamente entre los ciclos de floración. Resultados similares de uno a ocho ciclos de floración, con número de flores diferente por ciclo, fueron observados por Mizrahi y Nerd (1999) en Israel, en seis clones de *H. undatus*, y el número total de flores por planta fue de 17 a 74. En nuestro estudio,

Yield components

Flowers and fruits per plant

The number of flowers per plant was different between assessed years. In 2009, 69.4 flowers per plant were recorded, and 44.5 and 35.2 in 2008 and 2010. Significant differences were recorded among the flowering cycles. Bloom in 2008 was focused on the second flowering cycle (20.7 flowers per plant), in 2009 in the third (36.5 flowers per plant) and in 2010 the largest number of flowers were concentrated in the second and third flowering cycles (12.5 and 12.6 flowers per plant). The least number of flowers was observed in 2010, in the first and sixth flowering cycle, with 0.5 and 0.3 flowers per plant (Table 2).

The number of flowers per plant widely varied between flowering cycles. Similar results from one to eight flowering cycles, with different number of flowers per cycle, were observed by Mizrahi and Nerd (1999) in Israel, in six clones of *H. undatus*. In that study the total number of flowers per plant was 17 to 74. In our study, 55.2 % of the flowers of the year belonged to the second and third flowering cycles, between July and August. The flowering concentration in a short period of the annual cycle was documented by Jiang *et al.* (2011) in yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*), with 85 % of the flowers set out in the first 4 months of a total of eight that lasts the annual period.

In 2009, 33 to 41 % more fruits per plant were harvest than in 2008 and 2010 (Table 2). The number of fruits per plant in flowering cycles followed a similar number of flowers per plant pattern. In 2008, the second flowering cycle had the highest number of fruits per plant, in 2009 was the third flowering cycle, and in 2010, the fruits were concentrated in the second and third cycle.

A pitahaya plant produces three to four fruits during their first 2 years and between the fifth and sixth year the yield is stabilized to 50 fruits per plant (Meráz *et al.*, 2003). Castillo *et al.* (1996) observed that pitahaya plants of 3, 4 and 5 years had 7, 16 and 27 fruits in the year. The progressive trend was not maintained in 2008, 2009 and 2010 of our study. The lack of pruning at the end of the second year of evaluation may have restricted flowering and fruit formation the following year. Gunasena *et al.* (2007) noted that pitahayas plants require pruning of the

Cuadro 2. Rendimiento de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en las cosechas de 2008, 2009 y 2010 en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México.**Table 2. Yield of pitahaya fruit (*Hylocereus undatus*) harvested in 2008, 2009 and 2010 in the Culiacán Valley, Sinaloa, México .**

Ciclos de floración anual	Flores planta ⁻¹	Frutos planta ⁻¹	RFF	Producción kg planta ⁻¹	Producción Mg ha ⁻¹
2008					
1	0.8 b	0.7 c	1.0 b	0.3 c	0.3
2	20.7 a	9.0 a	2.9 a	4.0 a	4.5
3	4.3 b	2.3 bc	1.7 ab	1.0 bc	1.1
4	12.4 ab	5.8 ab	1.6 b	2.6 ab	2.9
5	6.3 b	4.3 bc	1.4 b	1.9 bc	2.1
∑	44.5	22.1		9.8	10.9
DMSH	9.5	4.4	1.2	1.9	
CV (%)	144	128	91	128	
2009					
1	0.6 c	0.6 c	1.0 a	0.3 b	0.3
2	4.9 bc	3.2 bc	1.6 a	1.4 b	1.5
3	36.5 a	14.6 a	4.0 a	5.0 a	5.5
4	7.4 bc	2.8 c	3.1 a	1.2 b	1.3
5	7.6 bc	1.6 c	2.4 a	0.7 b	0.7
6	0.7 c	0.4 c	1.1 a	0.2 b	0.2
7	11.7 b	8.1 ab	1.4 a	3.5 a	3.9
∑	69.4	33.1		12.3	13.4
DMSH	10.9	5.3	3.1	2.1	
CV (%)	163	162	161	157	
2010					
1	0.5 b	0.2 c	1.1 ab	0.1 b	0.1
2	12.5 a	6.7 a	1.5 ab	2.9 a	3.2
3	12.6 a	6.1 ab	3.1 a	2.8 a	3.1
4	3.8 b	2.2 bc	1.9 ab	0.8 ab	0.9
5	5.5 ab	4.0 abc	1.2 ab	2.0 ab	2.3
6	0.3 b	0.3 c	1.0 b	0.3 b	0.4
∑	35.2	19.6		8.9	10.0
DMSH	7.4	4.5	2.1	2.1	
CV (%)	161	170	144	174	

RFF: relación flor/fruto; ∑: sumatoria; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Medias con letra distinta en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$) ❖ RFF: flower/fruit relationship; ∑: sum; DMSH: least honest significant difference; CV: coefficient of variation. Means with different letter in a column are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$).

55.2 % de las flores del año pertenecieron a los ciclos de floración dos y tres, entre julio y agosto. La concentración de la floración en un periodo corto del ciclo anual de floración fue documentada por Jiang *et al.* (2011) en pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*), con 85 % de las flores expuestas en los primeros cuatro meses de ocho que dura el periodo anual.

En 2009 se cosecharon 33 y 41 % más frutos por planta que en 2008 y 2010 (Cuadro 2). El número

side shoots after harvest to promote vegetative buds and to multiply the areola, as pitahaya flowers form on the areolas of the last sprouting stems (Castillo and Ortiz, 1994).

Flowers/fruits ratio

The flowers/fruits ratio increases with the number of flowers per bloom cycle; therefore, the second flowering cycle in 2008, third in 2009 and

de frutos por planta en los ciclos de floración siguió un patrón similar al número de flores por planta. En 2008, el segundo ciclo de floración tuvo el número mayor de frutos por planta, en 2009 fue el tercer ciclo de floración, y en 2010, los frutos se concentraron en el segundo y tercer ciclo.

Una planta de pitahaya produce entre tres y cuatro frutos en los primeros 2 años y entre el quinto y sexto año la producción se estabiliza hasta producir 50 frutos por planta (Meráz *et al.*, 2003). Castillo *et al.* (1996) observaron que las plantas de pitahaya de 3, 4 y 5 años produjeron 7, 16 y 27 frutos en el año, la tendencia progresiva no se mantuvo en 2008, 2009 y 2010 de nuestro estudio. La falta de poda al finalizar el segundo año de evaluación pudo haber restringido la floración y la formación de frutos al siguiente año. Gunasena *et al.* (2007) señalaron que las plantas de pitahayas requieren poda de los tallos laterales después de la cosecha para promover brotes vegetativos y multiplicar las areolas, pues las flores de pitahaya se forman en las areolas de los tallos de la última brotación (Castillo y Ortiz, 1994).

Relación flores/frutos

La relación flores/frutos se incrementó con el número de flores por ciclo de floración; por ello, el segundo ciclo de floración en 2008 y el tercero en 2009 y 2010 tuvieron los valores mayores (2.9, 4.0 y 3.1) (Cuadro 2). El índice menor (alrededor de 1) se obtuvo en el primer ciclo de floración en los tres años del estudio.

Castillo *et al.* (2005) indicaron que uno de los problemas de *H. undatus* es el número reducido de frutos bien desarrollados en relación al total de flores producidas. Castillo *et al.* (2005) y Ortiz y Castillo (2012) atribuyen la formación baja de frutos a la incompatibilidad sexual de *H. undatus*. La relación alta de flores/frutos también se atribuye a la competencia por fotosintatos. Jiang *et al.* (2011) afirman que en pitahaya amarilla (*S. megalanthus*) (Schum. ex. Vaupel) la competencia por fotosintatos de flores y frutos afecta el crecimiento y desarrollo de ambos órganos. El traslapeo en el crecimiento de flores y frutos es común en las plantas de *H. undatus* (Cálix de Dios *et al.*, 2005). En la abscisión de las flores pueden estar involucradas las lluvias, ya que favorecen la presencia de enfermedades que ocasionan pudrición de las flores (Castillo, 2006;

2010 had the highest values (2.9, 4.0 and 3.1) (Table 2). The lower rate (about 1) was obtained in the first flowering cycle during the three years of the study.

Castillo *et al.* (2005) indicated that one of the problems of *H. undatus* is the reduced number of well-developed fruits in relation to the total number of produced flowers. Castillo *et al.* (2005) and Ortiz and Castillo (2012) attribute the low fruit formation to sexual incompatibility of *H. undatus*. The high flowers/fruits ratio is also attributed to photosynthates competition. Jiang *et al.* (2011) stated that in yellow pitahaya (*S. megalanthus*) (Schum. ex. Vaupel) competition for photosynthates of flowers and fruits affects growth and development of both plant organs. The overlap in the flowers and fruit growth is common in *H. undatus* plants (Cálix de Dios *et al.*, 2005). Rains may be involved in the flowers abscission, since they increase diseases that cause flower rotting (Castillo, 2006; Gunasena *et al.*, 2007). Once the fruit resumes growth after anthesis, does not undergo abscission, as it joins the stem as woody tissue (Le Bellec *et al.*, 2006). In our study we observed that the percentage of transformed flower to fruit was 70 to 80 %, which is similar to that reported by Jiang *et al.* (2011) in yellow pitahaya.

Yield

The yield per plant was higher in 2009 than in 2008 and 2010 (Table 2), and represented 25 and 24 % less yield in 2008 and 2010. In 2008, the second harvest had the highest yield (4.0 kg per plant), and was significantly different from other crops; the third harvest in 2009 was the most productive and significantly different from the other five. This amounted to a concentration of 42 % of the production in the 2008 flowering cycle and 47 % in 2009. In 2010 the highest yield was obtained in the second and third harvest, and concentrated 67 % of production. In the three years of evaluation, the production was accumulated during August and September.

In Israel pitahaya fruit production is concentrated in one or two harvest cycles, as observed in our study (Nerd *et al.*, 2002). This behavior affects crop marketing, as markets demand a continuous and uniform product flow (Mizrahi and Nerd, 1999; Castillo, 2006; Jaya, 2010).

Gunasena *et al.*, 2007). Una vez que el fruto reanuda su crecimiento después de antesis, no sufre abscisión, pues se une al tallo con tejido leñoso (Le Bellec *et al.*, 2006). En nuestro estudio el porcentaje de flores transformadas a fruto fue entre 70 y 80 %, lo que es similar a lo informado por Jiang *et al.* (2011) en pitahaya amarilla.

Rendimiento

El rendimiento por planta fue mayor en 2009 que en 2008 y 2010 (Cuadro 2), y representó 25 y 24 % menos rendimiento en 2008 y 2010. En 2008 la segunda cosecha tuvo el rendimiento mayor (4.0 kg por planta), y fue significativamente diferente al resto de las cosechas; en 2009 la tercera cosecha fue la más productiva y significativamente diferente a las otras cinco. Lo anterior representó una concentración de la producción de 42 % en un ciclo de floración en 2008 y de 47 % en 2009. En 2010 el rendimiento mayor se obtuvo en la segunda y tercera cosecha, y concentraron 67 % de la producción. En los tres años de evaluación, la producción se acumuló en agosto y septiembre.

En Israel la producción de frutos de pitahaya se concentra en uno o dos ciclos de cosecha, como se observó en nuestro estudio (Nerd *et al.*, 2002). Este comportamiento de la cosecha afecta la comercialización, ya que los mercados demandan un flujo continuo y uniforme del producto (Mizrahi y Nerd, 1999; Castillo, 2006; Jaya, 2010).

El rendimiento anual de pitahaya en 2008, 2009 y 2010 fue de 10.9, 13.4 y 10.0 Mg ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 2). Esta producción se obtuvo cuando el huerto tenía 3, 4 y 5 años de edad, respectivamente.

Meráz *et al.* (2003) opinan que los registros de rendimiento de pitahaya son variables y difíciles de estimar. Los factores que afectan la productividad de las plantas son la edad, el manejo, los sistemas y distancias de plantación, la incompatibilidad sexual y el clima (Mizrahi y Nerd, 1999; Nerd *et al.*, 2002; Meráz *et al.*, 2003; Castillo, 2006). En los primeros dos años una planta de pitahaya produce 1.0 kg (1.0 Mg ha⁻¹); entre el quinto y sexto año, el rendimiento se estabiliza en 18 kg por planta y 20 Mg ha⁻¹ (Meráz *et al.*, 2003). Al respecto, Castillo *et al.* (1996) indican que plantas de pitahaya de 3, 4 y 5 años tuvieron rendimiento de 2.5, 5.6 y 9.5 Mg

The annual yield of pitahaya in 2008, 2009 and 2010 was 10.9, 13.4 and 10.0 Mg ha⁻¹, respectively (Table 2). This yield was obtained when the orchard was 3, 4 and 5 years, respectively.

Meráz *et al.* (2003) argue that the pitahaya yield records are variable and difficult to estimate. Factors affecting productivity of plants are age, management, systems and planting distances, sexual incompatibility and climate (Mizrahi and Nerd, 1999; Nerd *et al.*, 2002; Meráz *et al.*, 2003; Castillo, 2006). In its first two years, pitahaya plants produce 1.0 kg (1.0 Mg ha⁻¹); between the fifth and sixth year, their yield is stabilized at 18 kg per plant and 20 Mg ha⁻¹ (Meráz *et al.*, 2003). In this regard, Castillo *et al.* (1996) indicate that pitahaya plants of 3, 4 and 5 years had yield of 2.5, 5.6 and 9.5 Mg ha⁻¹; these results are lower to those reported in our study. In Vietnamese orchards, up to 30 Mg ha⁻¹ are obtained (Merten, 2003). In Nicaragua yield is between 10 and 12 Mg ha⁻¹. According to Merten (2003), the yield of our evaluated orchard is medium.

Physical and chemical characteristics of fruits

Length, diameter, length/diameter ratio, weight, percentage of pulp and external color

In 2010, fruit size, length, diameter and weight were higher (13.4 cm, 8.8 cm and 481 g) than in 2009 (12.9 cm, 7.7 cm and 434 g). The length of the fruit did not differ between crops of the bloom cycles, but the diameter and weight were higher in the first and sixth harvests in 2009 and the sixth in 2010 (Table 3).

The fact that the fruit harvested in 2010 achieved greater length, diameter and weight than those of 2009 could be due to differences in the stems photosynthates production and its distribution to the fruit. Díaz (2002) noted that the growth of the fruits is a result of the photosynthates, water and minerals availability, and that the final fruit size is related to the number of them on the plant, so that the lower its number the higher resulting size will be at harvest. The same competition principle would explain the size difference (diameter and weight) in the fruits of the 2009 and 2010 harvests. Zegbe and Mena (2009) reduced competition among prickly pear fruit (*Opuntia ficus-indica* Mill.) by fruit thinning, and they obtained 70 % of marketable

ha⁻¹; estos resultados son inferiores a los de nuestro estudio. En huertos vietnamitas se obtienen hasta 30 Mg ha⁻¹ (Merten, 2003) y en los de Nicaragua entre 10 y 12 Mg ha⁻¹. De acuerdo con Merten (2003), la producción del huerto de nuestro estudio es de rendimiento mediano.

Características físicas y químicas de los frutos

Longitud, diámetro, relación longitud/diámetro, peso, porcentaje de pulpa y color externo

En 2010 el tamaño de fruto, la longitud, el diámetro y el peso, fueron mayores, (13.4 cm, 8.8 cm y 481 g) que en 2009 (12.9 cm, 7.7 cm y 434 g). La longitud del fruto no varió entre las cosechas de los ciclos de floración, pero el diámetro y el peso fueron mayores en la primera y sexta cosechas en 2009 y en la sexta en 2010 (Cuadro 3).

El hecho de que los frutos cosechados en 2010 alcanzaron longitud, diámetro y peso mayores que los de 2009, pudo deberse a diferencias en la producción de fotosintatos en los tallos y su distribución a los frutos. Díaz (2002) señaló que el crecimiento de los frutos es resultado de la disponibilidad de fotosintatos, agua y minerales, y que el tamaño final de los frutos está relacionado con la cantidad de ellos en la planta, por lo que entre más bajo sea su número mayor será el tamaño en la cosecha. El mismo principio de competencia explicaría la diferencia de tamaño (diámetro y peso) en los frutos de las cosechas de 2009 y 2010. Zegbe y Mena (2009) redujeron la competencia entre frutos de tuna (*Opuntia ficus-indica* Mill.) mediante el raleo de frutos, y obtuvieron 70 % de frutos comercializables (>5.0 cm de diámetro) en las plantas con raleo y 59 % en las plantas sin raleo.

Centurión *et al.* (2008) en un estudio realizado en Yucatán, México, obtuvieron frutos de pitahaya con 8.8 cm de longitud y 8.2 cm de diámetro, ambas medidas son menores a las de los frutos de nuestro estudio. El peso de los frutos analizados superó en muchos casos los valores entre 350 y 469 g reportados en otros estudios en México, (Castillo *et al.*, 1996; Centurión *et al.*, 2008) y en otros países, como Brasil (415 y 534 g) (Brunini y Cardoso, 2011), Vietnam (446 a 482 g) (Hoa *et al.*, 2006), Australia (150 y 600 g) (McMahon, 2003), Israel (425 y 550 g) (Nerd *et*

fruit (>5.0 cm in diameter) in plants with fruit thinning and 59 % in plants without thinning.

Centurion *et al.* (2008) in a study in Yucatan, México, obtained pitahaya fruits 8.8 cm long and 8.2 cm in diameter, both measures are lower than those of the fruits in our study. The weight of the analyzed fruits in many cases exceeded the values between 350 and 469 g reported for other studies in Mexico (Castillo *et al.*, 1996; Centurion *et al.*, 2008) and other countries such as Brazil (415 and 534 g) (Brunini and Cardoso, 2011), Vietnam (446 and 482 g) (Hoa *et al.*, 2006), Australia (150 and 600 g) (McMahon, 2003), Israel (425 to 550 g) (Nerd *et al.*, 1999) and Florida in the US (141 and 397 g) (Crane and Balerdi, 2005).

The length/diameter ratio showed no variation in the evaluated years (between 1.6 and 1.8); this reveals that these are oval fruits. Castillo *et al.* (2005) noted that the fruits are oval or balloon-like and that this feature is defined by the genotype.

The pulp percentage of the pitahaya fruits was similar in the evaluated years. In 2009, the fruits with most pulp were obtained in the first four crops, with least in the last three crops. In 2010 the fruits with the greater pulp proportion were obtained in the first two crops (Table 3).

Pulp contents between 70 and 80 % in fruits of *H. undatus* documented by Gunasena *et al.* (2007) and Centurion *et al.* (2008), are higher values than those obtained in our study. In other studies (Castillo *et al.*, 1996; Mizrahi *et al.*, 2007) the pulp proportion (60 and 70 %) was similar to that obtained in our study. The number of seeds in the pitahaya fruit is related with the development of edible tissue (Castillo *et al.*, 2005; Pushpakumara *et al.*, 2005; Gunasena *et al.*, 2007). The pulp of the pitahaya fruit and other cacti is derived from the funicle, papillary cells, cord that joins the egg to the placenta and that grows with the seed development; therefore, it is important to know the amount of fruit seeds (Jiang *et al.*, 2011). The rains affect the pollination, and with it the development of edible tissue and the fruit size (Ortiz and Castillo, 2012).

An important feature in the quality of the pitahaya fruits is their external color (Balois-Morales *et al.*, 2013). The fruits harvested in 2009 and 2010 had an H* of 14.9 and 13.9 (Table 3). In the year 2009 the lower H* values (7 and 8.5), which represent fruits with a red-purple color, were obtained in the first

Cuadro 3. Características físicas y químicas de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en 2009 y 2010 en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México.**Table 3. Physical and chemical characteristics of pitahaya (*Hylocereus undatus*) fruits in 2009 and 2010 in the Culiacán Valley, Sinaloa, México.**

Número y fechas de cosecha	L (cm)	D (cm)	RLD	Peso fruto (g)	Pulpa (%)	Color (H*)	SST (°Brix)	AT	RSA
2009									
1. Ago 19	13.0 a	8.0 a	1.6 a	456 ab	67.3 a	8.5 bc	15.0 a	0.67 b	23.5 bc
2. Sep 05	13.8 a	7.7 ab	1.8 a	423 ab	69.1 a	7.0 c	14.2 ab	0.77 ab	18.6 c
3. Sep 12	12.3 a	7.1 b	1.7 a	400 b	63.7 ab	11.4 bc	13.3 ab	0.83 ab	16.9 c
4. Sep 30	13.1 a	7.6 ab	1.7 a	434 ab	67.6 a	28.6 a	14.2 ab	0.86 a	17.3 c
5. Oct 21	12.4 a	7.6 ab	1.6 a	410 ab	59.8 bc	13.1 bc	14.2 ab	0.87 a	16.5 c
6. Nov 14	12.9 a	8.0 a	1.6 a	476 a	55.1 c	14.7 bc	13.9 ab	0.46 c	31.6 a
7. Dic 10	13.0 a	7.6 ab	1.7 a	436 ab	59.7 bc	20.7 ab	12.6 b	0.48 c	26.7 ab
Media	12.9	7.7	1.7	434	63.2	14.9	13.9	0.7	21.6
DMSH	1.8	0.8	0.2	128	5.5	13.1	2.1	0.18	7.0
CV (%)	10.2	8.3	9.8	23.2	9.8	77.9	11.7	29.11	34.1
2010									
1. Ago 15	13.8 a	7.5 b	1.8 a	372 c	65.8 ab	8.2 c	13.9 a	0.41 c	34.6 ab
2. Ago 19	13.4 a	8.0 ab	1.6 a	444 bc	72.2 a	17.2 ab	13.6 a	0.39 c	36.4 ab
3. Sep 10	14.0 a	8.3 ab	1.7 a	475 bc	59.2 b	13.7 abc	14.5 a	0.57 b	25.6 bc
4. Oct 11	13.5 a	8.0 ab	1.7 a	446 bc	59.8 b	19.3 a	13.1 a	0.69 a	19.3 c
5. Oct 26	13.6 a	8.3 ab	1.6 a	508 b	58.8 b	15.0 abc	13.9 a	0.58 b	24.5 bc
6. Nov 23	13.4 a	8.6 a	1.6 a	638 a	58.2 b	10.0 bc	15.6 a	0.37 c	46.8 a
Media	13.6	8.8	1.7	481	62.3	13.9	14.1	0.5	31.2
DMSH	1.3	0.9	0.2	114	12.5	8.7	2.7	0.09	14.7
CV (%)	6.7	8.6	8.3	24	16.6	52.0	14.6	27.95	44.4

L: longitud del fruto; D: diámetro del fruto; RLD: relación longitud/diámetro; H*: ángulo de matiz; SST: sólidos solubles totales; AT: acidez titulable (% ácido málico); RSA: relación sólidos/acidez. Medias con letra distinta en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$) ♦ L: fruit length; D: fruit diameter; RLD: length/diameter ratio; H*: hue angle; TSS: total soluble solids; TA: titratable acidity (% malic acid); TSS/TA: total soluble solids/titratable acidity ratio. Means with different letter in a column are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$).

al., 1999) y EE.UU. en Florida (141 y 397 g) (Crane y Balerdi, 2005).

La relación RLD no mostró variación en los años de evaluación (entre 1.6 y 1.8); esto revela que frutos tienen forma ovalada. Castillo *et al.* (2005) señalaron que los frutos presentan forma ovalada o globosa y esta característica está definida por el genotipo.

El porcentaje de pulpa de los frutos de pitahaya fue similar en los años evaluados. En 2009, los frutos con más pulpa se obtuvieron en las cuatro primeras cosechas y con menos en las tres últimas cosechas. En 2010 los frutos con mayor proporción de pulpa se obtuvieron en las primeras dos cosechas (Cuadro 3).

Gunasena *et al.* (2007) y Centurión *et al.* (2008) reportaron contenidos de pulpa entre 70 y 80 % en frutos de *H. undatus*, y son valores superiores

and second harvests. In the other five harvests, H* fluctuated between 11.4 and 28.6, which refers to red color shells.

It is possible that low H* and the intense fruit peel red color is because they stayed longer on the plant. Centurion *et al.* (2008) reported that the H* of fruits harvested 27 daa was 108.3 and 51 in others harvested at 31 daa. According to Nerd *et al.* (1999), the fruits of *H. undatus* had purple red ($H^* < 8$) at 28 daa from the anthesis and that color development in the skin is due to betalains. Balois-Morales *et al.* (2013) obtained a value of 38 H* for pitahayas with an 80 to 100 % red cover of the shell. Osuna *et al.* (2011) reported a value of 18 H* in mature red fruits with smooth skin. To *et al.* (2002) found H* between 22.1 and 22.4 in *H. undatus* fruits harvested at 40 daa.

a los obtenidos en nuestro estudio. En otros estudios (Castillo *et al.*, 1996; Mizrahi *et al.*, 2007) la proporción de pulpa (60 y 70 %) fue similar a la obtenida en éste. El número de semillas del fruto de pitahaya está relacionado con la formación del tejido comestible (Castillo *et al.*, 2005; Pushpakumara *et al.*, 2005; Gunasena *et al.*, 2007). La pulpa del fruto de pitahaya y otras cactáceas se deriva de las células papilares del funículo, cordón que une el óvulo a la placenta y que crece con el desarrollo de la semilla; por ello, es relevante conocer la cantidad de semillas del fruto (Jiang *et al.*, 2011). Las lluvias afectan la polinización, con ello la formación del tejido comestible y el tamaño del fruto (Ortiz y Castillo, 2012).

Una característica importante en la calidad de los frutos de pitahaya es el color externo (Balois-Morales *et al.* (2013). Los frutos cosechados en 2009 y 2010 tuvieron H^* de 14.9 y 13.9 (Cuadro 3). En el año 2009 los valores menores de H^* (7 y 8.5), que representan frutos con un color rojo púrpura, se obtuvieron en las primera y segunda cosechas. En las otras cinco cosechas, H^* fluctuó entre 11.4 y 28.6, y se refiere a cáscara de color rojo.

Es posible que el H^* bajo y la cáscara color rojo intenso en los frutos se deba a que permanecieron más tiempo en la planta. Centurión *et al.* (2008) señalaron que H^* de frutos cosechados 27 dda fue 108.3 y 51 en los cosechados 31 dda. Según Nerd *et al.* (1999), los frutos de *H. undatus* presentaron color rojo púrpura ($H^* < 8$) a los 28 dda de antes y que el desarrollo de color en la cáscara se debe a las betalainas. Balois-Morales *et al.* (2013) obtuvieron un valor de 38 H^* para pitahayas con una cobertura de color rojo de 80 a 100 % de la cáscara. Osuna *et al.* (2011) registraron un valor de 18 H^* en frutos maduros con cáscara roja uniforme. To *et al.* (2002) obtuvieron H^* entre 22.1 y 22.4 en frutos de *H. undatus* cosechados 40 dda.

Sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) y relación sólidos/acidez (RSA)

El contenido de SST fue similar en 2009 y 2010. En 2009, frutos de la primera cosecha presentaron el valor mayor, significativamente diferente al valor menor de los frutos de la séptima cosecha. Entre las cosechas de 2010 los SST no hubo diferencias significativas (Cuadro 3).

Total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA) and total soluble solids/titratable acidity ratio (TSS/TA)

The TSS content was similar in 2009 and 2010. In 2009, the first harvest fruits had the highest value, significantly different from the lowest value of the fruits of the seventh harvest. In 2010 TSS from harvest did not show significant difference between them.

The TSS content is a valued feature in the fruits of *H. undatus* (Balois-Morales *et al.*, 2013). According to Merten (2003), their acceptable values are between 12 and 13° Brix. Pushpakumara *et al.* (2005) reported values between 12 and 18 °Brix in Sri Lanka. In Mexico, Centurion *et al.* (2008) documented 12.6 °Brix, and Balois-Morales *et al.* (2013) from 9 to 14 °Brix. The fruits harvested in the Culiacán Valley, values between 12.6 and 15.6 °Brix, because of this feature they can be described as of good quality (Merten, 2003).

The TA was higher in 2009 compared to 2010 (Table 3). In 2009 the first five crops had the highest acidity and were significantly different from the sixth and seventh harvest. In 2010 TA was also statistically different between harvests, the highest values were recorded in the fruits of the third, fourth and fifth crops and the lowest were those of the first, second and sixth harvest.

Centurion *et al.* (2008) reported that the TA decreases from 1.2 to 0.4 % in the last 5 d of ripening in the pitahaya fruits; therefore, the difference of only one day between crops can generate different TA. This would help to explain differences in the present study. Thus, the fruits of pitahaya should have minimum of 0.24 % TA to ensure that its taste is pleasant; this value is higher than the pitahayas produced in the Valley of Culiacan during the assessed years.

The TSS/TA ratio of pitaya fruits was different between 2009 and 2010. In 2009 the fruits of the sixth and seventh harvest showed higher TSS/TA ratio and were significantly different from other harvest. In 2010 the highest TSS/TA ratio value (46.8) was recorded in fruits of the sixth harvest, the minimum was obtained in the fourth harvest; their difference was significant (Table 3).

The ideal TSS/TA ratio value for the consumption of *H. undatus* fruits must be less than 40 (Nerd *et*

El contenido de SST es una característica apreciada en los frutos de *H. undatus* (Balois-Morales *et al.*, 2013). De acuerdo con Merten (2003), los valores aceptables están entre 12 y 13 °Brix. Pushpakumara *et al.* (2005) en Sri Lanka mostraron valores entre 12 y 18 °Brix, y en México, Centurión *et al.* (2008) señalaron 12.6 °Brix, y Balois-Morales *et al.* (2013) entre 9 y 14 °Brix. Los frutos cosechados en el Valle de Culiacán, tuvieron valores entre 12.6 y 15.6° Brix, por lo cual pueden calificarse con buena calidad (Merten, 2003).

La AT fue mayor en 2009 que en 2010 (Cuadro 3). En el 2009 las cinco primeras cosechas registraron la acidez mayor y fueron significativamente diferentes a los de la sexta y séptima cosecha. En el 2010 AT también fue estadísticamente diferente entre cosechas, los valores mayores se registraron en los frutos de la tercera, cuarta y quinta cosechas y los menores en la primera, segunda y sexta cosecha.

Centurión *et al.* (2008) señalaron que AT disminuye de 1.2 a 0.4 % en los últimos 5 d de maduración de los frutos de pitahaya; por lo tanto, la diferencia de solo un día entre cosechas puede generar diferencias de AT. Esto ayudaría a explicar las diferencias en nuestro estudio. Así, los frutos de pitahaya deberían tener AT mínima de 0.24 % para asegurar que su sabor sea agradable; este valor es superado por las pitahayas producidas en el Valle de Culiacán en los años de evaluación.

La RSA de los frutos de pitahaya fue diferente entre 2009 y 2010. En 2009 los frutos de la sexta y séptima cosechas presentaron RSA mayores y significativamente diferentes al resto de las cosechas. En 2010 el valor mayor de RSA (46.8) se registró en los frutos de la sexta cosecha y el mínimo (19.3) en la cuarta cosecha; la diferencia fue significativa (Cuadro 3).

El valor ideal de RSA para el consumo de frutos de *H. undatus* debe ser menor a 40 (Nerd *et al.*, 1999; To *et al.*, 2002). Un valor menor (33.5) fue obtenido en frutos cosechados en Yucatán (Centurión *et al.*, 2008). Una RSA superior a 40 se obtendría en frutos insípidos, por la pérdida de los ácidos orgánicos durante la respiración (To *et al.*, 2002). En nuestro estudio los frutos tuvieron índices de calidad de RSA, inferiores al valor máximo establecido como límite.

al., 1999; To *et al.*, 2002). A lower value (33.5) was obtained from fruits harvested in Yucatan (Centurión *et al.*, 2008). An index of higher than 40 TSS/TA ratio would be obtained in tasteless fruits due the loss of organic acids during respiration (To *et al.*, 2002). In our study, fruit had TSS/TA ratio quality indices below the maximum value set limit.

CONCLUSIONS

The pitahaya bloom in the Culiacán Valley began in June and ended in September and October. In this period between five and seven flowering cycles occurred. The onset of flowering is associated with increased relative humidity and temperature. The performance of the orchard, between 10 and 13.4 Mg ha⁻¹, was fair and agree with the age of the orchard. Pitahaya fruits from this region meet quality indicators in Mexico and other producing countries, according to their size, weight, pulp content, external color, TSS, TA and TSS/TA ratio.

—End of the English version—



CONCLUSIONES

La floración de la pitahaya en el Valle de Culiacán inició en junio y concluyó entre septiembre y octubre. En este periodo ocurrieron entre cinco y siete ciclos de floración. El inicio de la floración se asoció con el incremento de la humedad relativa y la temperatura. El rendimiento del huerto, entre 10 y 13.4 Mg ha⁻¹, fue regular y acorde con la edad del cultivo. Los frutos de pitahaya de esta región cumplen con los indicadores de calidad señalados en México y otros países productores, según su tamaño, peso, contenido de pulpa, color externo, SST, AT y relación SST/AT.

AGRADECIMIENTOS

A Fundación Produce Sinaloa, A. C., Zona Centro, por el apoyo financiero. A la M. C. Laura Aracely Contreras Angulo, M. C. Rosabel Vélez de la Rocha, Ing. Rosalba Contreras Martínez y M. C. María Emilia Ibarra Zazueta, por su colaboración en los trabajos de campo y laboratorio.

LITERATURA CITADA

- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 1998. Official Methods of Analysis. 16th ed. S. Williams (ed). Published by the Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C. USA. CD-Rom.
- Balois-Morales, R., C. B. Peña-Valdivia, y V. B. Arroyo-Peña. 2013. Síntomas y sensibilidad al daño por frío de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) durante la poscosecha. *Agrociencia* 47: 795-813.
- Barbeau, G. 1990. La pitahaya rouge, un nouveau fruit exotique. *Fruits* 45(2): 141-147.
- Bárceñas A., P. L. Tijerina Ch., y A. Quevedo N. 2002. La Zonificación de Cultivos en México. Serie Cuadernos CBS No. 42. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 64 p.
- Brunini, M. A., e S. S. Cardoso. 2011. Qualidade de pitaias de polpa branca armazenadas em diferentes temperaturas. *Revista Caatinga, Mossoró* 24: 78-84.
- Cáliz de Dios, H., R. Castillo M., A. Rodríguez C., y R. Castañeda C. 2005. El cultivo de la pitahaya en el trópico. Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco. 110 p.
- Castillo M., R. 2006. Aprovechamiento de la pitahaya: bondades y problemáticas. *Caos Conciencia* 1: 13-18.
- Castillo M., R., y Y. D. Ortiz H. 1994. Floración y fructificación de Pitahaya en Zaachila, Oaxaca. *Rev. Fitotec. Mex.* 17: 12-19.
- Castillo M., R., H. Cáliz de Dios, y A. Rodríguez C. 1996. Guía técnica para el cultivo de pitahaya. CONACyT, UQRoo, INIFAP, Universidad Autónoma Chapingo, 158 p.
- Castillo M., R., M. Livera M., y G. J. Márquez G. 2005. Caracterización morfológica y compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Agrociencia* 39: 183-194.
- Centurión, Y., A., R., S. Solís P., C. Saucedo V., R. Báez S., y E. Sauri D. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 1-5.
- Crane, J. H., and C. F. Balardi. 2005. The Pitaya (*Hylocereus undatus* and other spp.) in Florida. *Trop. Res. Educ. Ctr., Univ. of Florida, Homestead*. http://miami-dade.ifas.ufl.edu/pdfs/tropical_fruit/THE%20PITAYA%20in%20Florida.pdf. (Consulta: octubre, 2013).
- Díaz M., D., H. 2002. Fisiología de Árboles Frutales. AGT Editor. S. A. México. 390 p.
- Esquivel P., y Y. Araya Q. 2012. Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Rev. Ven. Cienc. Tecnol. Alim.* 3: 113-129.
- García B., M., E., y O. Quirós, M. 2010. Análisis del comportamiento de mercado de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en Costa Rica. *Tecnol. Marcha* 23: 14-24.
- García E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Offset Larios. México, D. F. 217 p.
- Gunaseena, H. P. M., D. K. N. G. Pushpakumara, and M. Kariyawasam. 2007. Dragon Fruit. *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton and Rose. *In: Pushpakumara D. K. N. G., H. P. M. Gunaseena, and V. P. Singh (eds). Underutilized fruit trees in Sri Lanka*. World Agroforestry Centre, South Asia Office, New Delhi, India. pp: 111-141.
- Ho, T. T., C. J. Clark, B. C. Waddell, and A. B. Woolf. 2006. Postharvest quality of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) following disinfesting hot air treatments. *Postharvest Biol. Tec.* 41: 62-69.
- Jaya, I. K. D. 2010. Morphology and physiology of pitaya and its future prospects in Indonesia. *Crop. Agro.* 1: 44-50.
- Jiang, Y. L., T. S. Lin, Ch. L. Lee, Ch. R. Yen, and W. J. Yen. 2011. Phenology, canopy composition, and fruit quality of yellow pitaya in tropical Taiwan. *HortScience* 46: 1497-1502.
- Jiang, Y. L., Y. Y. Liao, T. S. Lin, Ch. L. Lee, Ch. R. Yen, and W. J. Yang. 2012. The photoperiod-regulated bud formation of red pitaya (*Hylocereus* sp.). *HortScience* 47: 1063-1067.
- Le Bellec, F., F. Vaillant, and E. Imbert. 2006. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. *Fruits* 61: 237-250.
- Marques, B., V., R. A. Moreira, J. D. Ramos, N. A. de Araújo, e F. O. dos R. Silva. 2011. Fenología reproductiva de pitaiá vermelha no município de Lavras, MG. *Ciência Rural, Santa Maria* 41: 984-987.
- McMahon, G. 2003. Pitaya (Dragon Fruit). Department of Primary Industry, Fisheries and Mines. Crop Forestry and Horticulture Division, Darwin NT. Fact Sheet 12. 2 p.
- Meráz A., M. del R., M. A. Gómez C., y R. Schwentesius R. 2003. Pitahaya de México-Producción y Comercialización en el Contexto Internacional. *In: Flores V., C. A. (ed.). Pitayas y Pitahayas*. CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo. pp: 99-116.
- Merten, S. 2003. A Review of *Hylocereus* Production in the United States. *J. Prof. Assoc. Cactus Develop.* 1: 98-105.
- MINITAB (2011) Statistical Software, Release number 16.0. www.minitab.com (Consulta: Noviembre, 2012).
- Mizrabi, Y., and A. Nerd. 1999. Climbing and columnar cacti: New arid land fruit crops. *In: J. Janick (ed). Perspectives on New Crops and New Uses*. ASHS Press, Alexandria, VA. pp: 358-366.
- Mizrabi, Y., A. Nerd, and Y. Sitrit. 2002. New fruits for arid climates. *In: Janick, J., and A. Whipkey (eds). ASHS Press: New Trends in New Crops and New Uses*. Alexandria, VA. pp: 378-384.
- Mizrabi, Y., E. Raveh, E. Yossov A. Nerd, and J. Ben-Asher. 2007. New fruit crops with high water use efficiency. *In: Janick, J., and A. Whipkey (eds). Issues in New Crops and New Uses*. ASHS Press, Alexandria, VA. pp: 378-384.
- Nerd, A., F. Guttman, and Y. Mizrabi. 1999. Ripening and postharvest behaviour of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). *Posthar. Biol. Technol.* 17: 39-45.
- Nerd, A., Y. Sitrit, R. A. Kaushik, and Y. Mizrabi. 2002. High summer temperatures inhibit flowering in vine pitaya crops (*Hylocereus* spp.). *Scientia Horticulturae* 96: 343-350.
- Ortiz H., Y. D., y J. A. Castillo S. 2012. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a short review. *Comunicata Scientiae* 3:220-237.
- Osuna E., T., M. E. Ibarra Z., M. D. Muy R., J. B. Valdez T., M. Villarreal R., y S. Hernández V. 2011. Calidad poscosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. *Rev. Fitotec. Mex.* 34: 63-72.
- Pushpakumara, D. K. N. G., H. P. M. Gunaseena, and M. Kariyawasam, 2005. Flowering and fruiting phenology, pollination vectors and breeding system of Dragon Fruit (*Hylocereus* spp.). *Sri Lankan J. Agric. Sci.* 42: 81-91.

Rodríguez C. 2000. Pitahayas. Estado Mundial de su Cultivo y Comercialización. Fundación Yucatán Produce, A. C., Universidad Autónoma de Chapingo. Maxcanú, Yucatán, México. 153 p.

To, L. V., N. Ngu, N. D. Duc, and H. T. T. Huong. 2002. Dragon fruit quality and storage life: effect of harvest time, use of plant growth regulators and modified atmosphere packaging. *Acta Horticulturae* 575: 611-621.

Zegbe J. A., and J. Mena, C. 2009. Flower bud thinning in 'Rojo Liso' cactus pear. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 84: 595-598.