



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**FRUTICULTURA**

## **Fenología y desarrollo de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw. Britt. & Rose) en la región central de Veracruz**

**ELISA RAQUEL MARTÍNEZ RUIZ**

**T E S I S**  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

2014

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Elisa Raquel Martínez Ruiz, Alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. A. Enrique Becerril Román, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Fenología y desarrollo de pitahaya (Hylocereus undatus Haw. Britt. & Rose) en la región central de Veracruz y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución. El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 14 de Octubre de 2014



Firma



Dr .A. Enrique Becerril Román  
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Fenología y desarrollo de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw. Britt. & Rose) en la región central de Veracruz**, realizada por la alumna: **Elisa Raquel Martínez Ruiz**, bajo la dirección del Consejo Particular abajo indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**  
**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**  
**FRUTICULTURA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO



---

DR. ALBERTO ENRIQUE BECERRIL ROMÁN

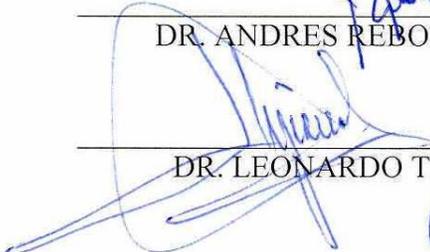
DIRECTOR DE TESIS



---

DR. ANDRES REBOLLEDO MARTÍNEZ

ASESOR



---

DR. LEONARDO TIJERINA CHÁVEZ

ASESOR



---

DRA. ANA LID DEL ÁNGEL PÉREZ

ASESOR



---

DR. CIRO VELASCO CRUZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Octubre 14 de 2014

# **FENOLOGÍA Y DESARROLLO DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus* Haw. Britt. & Rose) EN LA REGIÓN CENTRAL DE VERACRUZ**

Elisa Raquel Martínez Ruiz, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014

## **RESUMEN**

Conocer a detalle la ocurrencia de las etapas de desarrollo de un cultivo en una región, con base en las condiciones climáticas prevalecientes, permite optimizar el manejo y planear las épocas de cosecha. Esto es posible mediante el estudio de la fenología y la aplicación de herramientas como son los grados día desarrollo (GDD). Los GDD son índices utilizados para estimar el desarrollo de las plantas, principalmente para predecir la madurez fisiológica de los cultivos. En la pitahaya no se conocen aun los requerimientos térmicos (RT) para sus etapas fenológicas, esta situación propició la realización de este estudio en el municipio de Medellín, Veracruz, con variedades de pitahaya endémicas de la región ('Ana', 'Juana' y 'Carlos'). El objetivo principal fue determinar el RT de las tres variedades de pitahaya y modelar el crecimiento de fruto en relación con la acumulación de GDD en los ciclos 2012-2013 y 2013-2014. En cada ciclo se consideraron dos flujos de brotación floral (Flujo 2 y Flujo 3). Se realizó el cálculo de GDD por el método residual para cada etapa fenológica. Se determinaron diferencias estadísticas entre variedades para las fechas en que se registraron las fases, la duración en días de las etapas y la acumulación de GDD. Para describir el desarrollo del fruto se consideraron los datos de diámetro (D) y longitud (L) de fruto en la etapa de amarre a madurez, y se evaluaron dos modelos de regresión lineal: uno que asocia el logaritmo de D o L con el logaritmo de GDD, y otro que asocia el logaritmo de D o L con GDD. Con los modelos ajustados por variedad, se compararon las pendientes, para determinar si para alguna variedad, D o L resultaba más sensible a cambios en GDD. Adicionalmente, los promedios de D y L finales por variedad, se compararon para determinar la variedad que produce los frutos más grandes. Asimismo se definió la etapa de letargo, crecimiento vegetativo y el crecimiento radical; finalmente se determinó el rendimiento de fruto, el % de acidez, el contenido de °Brix y la relación °Brix/Acidez. Como resultados principales destacó que el periodo reproductivo

de la pitahaya estuvo ampliamente condicionado a la incidencia de precipitaciones y humedad del suelo. En los dos ciclos de estudio, el RT total (brotación - madurez) fue estadísticamente diferente entre variedades, siendo menor el RT para 'Juana'; sin embargo, el RT total fue constante en ambos ciclos para 'Ana' y 'Juana', al no encontrarse diferencia significativa al comparar el RT entre el ciclo 2013 y el ciclo 2014. Para las tres variedades el RT fue menor en el Flujo 3. El RT total obtenido fue de 911, 881 y 906 GDD para las variedades 'Ana', 'Juana' y 'Carlos', respectivamente. Basado en criterios estadísticos de selección de modelos, se optó por el modelo de regresión que relaciona D o L con GDD en escala logarítmica, para describir el crecimiento de las tres variedades. Al comparar las pendientes de las rectas de regresión en los dos ciclos, no se encontró diferencia significativa entre variedades. Para el último valor de D y L se observó diferencia entre el tamaño de los frutos de las variedades 'Juana' y 'Carlos'. El periodo de letargo antecede al periodo reproductivo, durante el cual las plantas no manifestaron crecimiento vegetativo, específicamente de ramas, y corresponde a los meses en que la temperatura es más baja. La variedad 'Carlos' produjo el mayor rendimiento de fruto en ambos ciclos y también presentó el mayor valor de °Brix, mientras que en % de acidez 'Juana' fue superior a las demás variedades. La variedad 'Juana' mostró una relación °Brix/Acidez más baja, por lo cual el sabor de sus frutos fue más agradable. Es necesario ampliar el número de ciclos de evaluación en estudios sobre la fenología de la pitahaya, a fin de generar información más confiable.

**Palabras clave:** *H. undatus*, fenología, grados día desarrollo, crecimiento de fruto, modelos lineales.

**PHENOLOGY AND DEVELOPMENT OF DRAGON FRUIT (*Hylocereus undatus*  
Haw. Britt. & Rose) IN CENTRAL AREA OF VERACRUZ**

Elisa Raquel Martínez Ruiz, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014

**SUMMARY**

In order to improve management of a crop and establishing its harvesting periods, it is necessary to know in detail the happenings of the growing stages of a plant and the climate conditions in a given place. This is possible through the study of phenology and the use of some tools like growing degree-days (GDD). GDD are used to estimate plants' growth, mostly to predict the mature stage in some crops. Heat Requirements (HR) as GDD for its phenology stages, is unknown in dragon fruit. Therefore, this study was carried out in Medellín, Veracruz, with endemic dragon fruit varieties ('Ana', 'Juana' and 'Carlos'). The main objectives were to determine the HR in the three varieties, and to model the fruit growth as a function of the HR as GDD in the periods 2012-2013 and 2013-2014, with information that includes two reproductive periods in every cycle (Period 2 and Period 3). GDD accounting was made for every phenological stage using the Residual method. An analysis of variance was performed to find significant difference among varieties for the date of every phase, for the time of every stage and the HR. In order to describe fruit growth, the fruit diameter (D) and fruit length (L) were measured periodically within the interval that covers the stage where the fruits set to the stage where the fruits mature. Two linear models were evaluated in order to find which one describes the best the relationship between D or L with GDD: one model relates D or L with GDD in the logarithm scale, and the other relates D or L in the logarithm scale with GDD. The slope estimated for each variety was compared with the other varieties' slopes to verify if any variety has fruit sizes more sensitive to changes in GDD. In addition, the last value of D and L, which regards to the highest value of GDD, was compared among varieties to find statistical differences. Plants dormancy, vegetative and root growth was delimited in this research. Finally, fruit yield was recorded, in addition to acidity percentage, °Brix content, and °Brix/Acidity ratio. As results, dragon fruit reproductive period was widely influenced by rain and soil humidity. In both cycles the total HR (floral bud to mature stage)

was statistically different among varieties, 'Juana' had the less HR; however, the total HR was constant in both cycles for 'Ana' and 'Juana', because there was no difference when comparing the HR among cycle 2013 and cycle 2014. The three varieties had less HR at 3th period. The total HR found was of 911, 981 and 906 GDD for 'Ana', 'Juana' and 'Carlos', respectively. To describe fruit growth as a function of GDD, the model that relates D or L with GDD in the logarithm scale was found more appropriate based on model selection criterion. The slope comparison showed that the fruit size of the three varieties responded similarly to changes in GDD. While the comparison of D and L, at the last stage of the fruit, showed that 'Juana' and 'Carlos' had significant differences , i.e. the fruit size of these two varieties are different on average. The reproductive period was preceded by the dormancy stage when there was no vegetative growth, especially of branches, and it belongs to the months with the lower temperature. 'Carlos' had the highest fruit yield and the highest Brix value at the two cycles, while 'Juana' had the highest acidity percentage. About the °Brix/Acidity relation, 'Juana' had the lower value which means that this variety has a better flavour. It is necessary to increase the number of years in phenology studies to have stronger conclusion.

**Keywords:** *H. undatus*, phenology, growing degree-days, fruit growth, linear models.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), que mediante las contribuciones de los mexicanos, hacen posible la asignación de becas de posgrado a los estudiantes para fortalecer la base científica de nuestro país.

Al Colegio de Postgraduados – Programa de Fruticultura por permitirme realizar mis estudios de maestría y por todos los conocimientos brindados.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) – Campo Experimental Cotaxtla, por las facilidades en campo para el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. A. Enrique Becerril Román, por la conducción de este estudio, mediante la integración de todos los temas que incluye la tesis, y por todo el apoyo durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

Al Dr. Andrés Rebolledo Martínez, por el apoyo durante mi estancia en el Campo Cotaxtla, y por la forma práctica de hacerme ver los resultados de la tesis.

Al Dr. Leonardo Tijerina Chávez, por la disponibilidad para la realización de este estudio y por las acertadas observaciones para mejorar los resultados.

Al Dr. Ciro Velasco Cruz, por el tiempo brindado durante todo el proceso de análisis de datos, por la paciencia en los temas de regresión.

A la Dra. Ana Lid Del Ángel, por permitirme realizar los estudios de fenología en las variedades de pitahaya establecidas en el C.E. Cotaxtla.

Al personal del C.E. Cotaxtla por su amabilidad durante mi estancia en campo.

Al Dr. Abel Quevedo Nolasco, por el apoyo brindado en temas de fenología y agrometeorología.

A la familia Murillo, por recibirme tan cordialmente en su hogar durante mi estancia en Veracruz.

A los amigos, que de forma afortunada encontré en Veracruz gracias a la realización de este estudio, por el apoyo y los momentos tan agradables durante esa estancia.

## **DEDICATORIA**

### **A MIS PADRES:**

**Pablo Eloy Martínez Jiménez y Amelia Ruiz Mendoza, mi inspiración y un ejemplo a seguir en todo momento de mi vida.**

### **A mis hermanos:**

**Fabiola y Francisco Eloy, por apoyar e incentivar mi superación profesional.**

**A mis amigos, que han estado conmigo en todo este proceso.**

**A mi hermoso estado, Oaxaca, un motivo para seguir adelante.**

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	xii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xiii
<b>ÍNDICE DE CUADROS DE APÉNDICE</b> .....	xv
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Hipótesis .....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1 Antecedentes .....	4
2.2 La pitahaya ( <i>Hylocereus undatus</i> ).....	4
2.2.1 Taxonomía.....	4
2.2.2 Características botánicas de <i>Hylocereus undatus</i> .....	5
2.2.3 Requerimientos bioclimáticos de la pitahaya .....	8
2.2.3.1 Temperatura.....	8
2.2.3.2 Precipitación.....	9
2.2.3.3 Luz.....	10
2.2.4 Condición MAC de la pitahaya .....	10
2.2.5 Condiciones de suelo.....	12
2.3 Estudios fenológicos.....	12
2.4 Pronóstico de fenología – Grados día desarrollo.....	13
2.5 Fenología de la Pitahaya.....	15
2.6 Aspectos de calidad de fruto de pitahaya .....	19
2.7 Modelos de regresión, medidas repetidas y curvas de crecimiento.....	21
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	23
3.1 Sitio experimental.....	23
3.2 Material vegetal y manejo del lote experimental.....	24
3.3 Registro de datos meteorológicos.....	25
3.4 Registro de la fenología reproductiva de la pitahaya .....	25
3.5 Crecimiento de fruto.....	26
3.6 Cálculo de acumulación de calor.....	27
3.7 Crecimiento vegetativo y Crecimiento de la raíz .....	28

3.8 Monitoreo de la humedad del suelo.....	29
3.9 Calidad de fruto .....	30
3.10 Análisis de datos.....	31
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>33</b>
4.1 Análisis de datos meteorológicos .....	33
4.2 Fenología reproductiva de la pitahaya.....	37
4.3 Cálculo de acumulación de calor – Grados día desarrollo (GDD).....	44
4.4 Ajuste de un modelo para el diámetro y la longitud de fruto de pitahaya, en función de la acumulación térmica (GDD).....	49
4.5 Crecimiento vegetativo y Crecimiento de raíz .....	62
4.6 Humedad de suelo .....	64
4.7 Rendimiento de fruto.....	64
4.8 Calidad de fruto .....	66
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>72</b>
<b>VII. APÉNDICE .....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Fechas de inicio y término de cada ciclo de evaluación para el cálculo de GDD..	28
<b>Cuadro 2.</b> Procedimiento utilizado para obtención del requerimiento térmico.....	28
<b>Cuadro 3.</b> Modelos evaluados para el crecimiento de fruto de tres variedades de pitahaya...	32
<b>Cuadro 4.</b> Fechas de registro de las fases fenológicas de tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver., ciclo 2013.....	38
<b>Cuadro 5.</b> Fechas de registro de las fases fenológicas de tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver., ciclo 2014.....	39
<b>Cuadro 6.</b> Duración en días de las etapas fenológicas de tres variedades de pitahaya, Medellín, Ver., ciclo 2013.....	40
<b>Cuadro 7.</b> Duración en días de las etapas fenológicas de tres variedades de pitahaya, Medellín, Ver., ciclo 2014.....	41
<b>Cuadro 8.</b> GDD acumulados para el cumplimiento de las fases fenológicas de tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver., ciclo 2013.....	44
<b>Cuadro 9.</b> GDD acumulados para el cumplimiento de las fases fenológicas de tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver., ciclo 2014.....	45
<b>Cuadro 10.</b> Requerimiento térmico total (GDD) de tres variedades de pitahaya en los dos ciclos de estudio. Medellín, Ver. 2013-2014.....	49
<b>Cuadro 11.</b> Comparación del último valor de diámetro y longitud de fruto en tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver. 2013. ....	60
<b>Cuadro 12.</b> Comparación del último valor de diámetro y longitud de fruto en tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver. 2014. ....	60
<b>Cuadro 13.</b> Valores de Probabilidad (P-value) obtenidos de la comparación de pendientes de las líneas de crecimiento de frutos entre variedades (2013-2014).....	61
<b>Cuadro 14.</b> Valores de Probabilidad (P-value) obtenidos de la comparación de pendientes de las líneas de crecimiento de frutos, entre flujos en cada ciclo (2013-2014).....	62
<b>Cuadro 15.</b> Valores de Probabilidad (P-value) obtenidos de la comparación de pendientes de las líneas de crecimiento de frutos para cada flujo, entre los dos ciclos (2013-2014).. ....	62
<b>Cuadro 16.</b> Valores la relación °Brix/Acidez registrados en frutos de pitahaya en los dos ciclos de evaluación. 2013-2014. ....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización geográfica del sitio de estudio: Municipio de Medellín, Veracruz. ...	23
<b>Figura 2.</b> Plantación de pitahaya en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP. ....	25
<b>Figura 3.</b> Fases fenológicas reproductivas de la pitahaya: a) Brotación, b) Antesis, c) Amarre de fruto y d) Madurez de consumo. Medellín, Veracruz (2013-2014).....	26
<b>Figura 4.</b> Botones florales de las variedades en evaluación, a) ‘Ana’, b) ‘Juana’, c) ‘Carlos’; siete días después de haber emergido .....	26
<b>Figura 5.</b> Frutos de pitahaya cubiertos con una malla sombra negra (60 % de sombra), colocadas 22 días después de la antesis y antes de la madurez de fruto, para evitar daño de insectos y aves. ....	27
<b>Figura 6.</b> Evaluaciones de calidad de fruto: a) registro de SST mediante un refractómetro digital; b) titulación con NaOH, para obtener el porcentaje de acidez.....	31
<b>Figura 7.</b> Registro de las temperaturas máxima, mínima y media durante el primer ciclo con relación a la temperatura base de la pitahaya. Medellín, Veracruz. 2012-2013.....	34
<b>Figura 8.</b> Registro de las temperaturas máxima, mínima y media durante el segundo ciclo con relación a la temperatura base de la pitahaya. Medellín, Veracruz. 2013-2014.....	34
<b>Figura 9.</b> Valores de temperatura ajustados mediante el Análisis de Fourier en relación con la temperatura base y el periodo reproductivo de la pitahaya. Medellín, Veracruz. 2012-2014..	35
<b>Figura 10.</b> Precipitación registrada durante los dos ciclos de evaluación y su relación con el periodo reproductivo de la pitahaya. Medellín, Veracruz. 2012-2014.....	36
<b>Figura 11.</b> Descripción de las fases fenológicas reproductivas de la pitahaya observadas en Medellín, Ver. 2013-2014. ....	37
<b>Figura 12.</b> Periodo reproductivo de la pitahaya en relación con los elementos del clima registrados durante el primer ciclo (2013) en Medellín, Veracruz.....	43
<b>Figura 13.</b> Periodo reproductivo de la pitahaya en relación con los elementos del clima registrados durante el segundo ciclo (2014) en Medellín, Veracruz. ....	43
<b>Figura 14.</b> Requerimiento térmico (GDD) registrados en cada etapa fenológica de tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver., ciclo 2013.....	46
<b>Figura 15.</b> Requerimiento térmico (GDD) registrados en cada etapa fenológica de tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver., ciclo 2014.....	47
<b>Figura 16.</b> Comparación del requerimiento térmico total (brotación – madurez) entre flujos del primer ciclo (2013). ....	48
<b>Figura 17.</b> Comparación del requerimiento térmico total (brotación – madurez) entre flujos del segundo ciclo (2014).....	48
<b>Figura 18.</b> Rectas de regresión para la variable diámetro de fruto, correspondientes al 2° flujo del primer ciclo de producción. Medellín, Ver. 2013.....	51

<b>Figura 19.</b> Rectas de regresión para la variable longitud de fruto, correspondiente al 2° flujo del primer ciclo de producción. Medellín, Ver. 2013.....	52
<b>Figura 20.</b> Rectas de regresión para la variable diámetro de fruto, correspondientes al 3er flujo del primer ciclo de producción. Medellín, Ver. 2013 .....	53
<b>Figura 21.</b> Rectas de regresión para la variable longitud de fruto, correspondiente al 3er flujo del primer ciclo de producción. Medellín, Ver. 2013.....	54
<b>Figura 22.</b> Rectas de regresión para la variable diámetro de fruto, correspondientes al 2° flujo del segundo ciclo de producción. Medellín, Ver. 2014.....	56
<b>Figura 23.</b> Rectas de regresión para la variable longitud de fruto, correspondientes al 2° flujo del segundo ciclo de producción. Medellín, Ver. 2014.....	57
<b>Figura 24.</b> Rectas de regresión para la variable diámetro de fruto, correspondientes al 3er flujo del segundo ciclo de producción 2014. Medellín, Ver. ....	58
<b>Figura 25.</b> Rectas de regresión para la variable longitud de fruto, correspondientes al 3er flujo del segundo ciclo de producción 2014. Medellín, Ver.....	59
<b>Figura 26.</b> Periodos de letargo y crecimiento vegetativo en relación con los datos meteorológicos registrados en Medellín, Ver. 2012-2014. ....	63
<b>Figura 27.</b> Porcentaje de humedad de suelo registrada durante el ciclo 2014 en Medellín, Veracruz.....	64
<b>Figura 28.</b> Rendimiento de fruto total registrado en las ocho plantas de cada variedad de pitahaya. Medellín, Ver. 2013-2014.....	65
<b>Figura 29.</b> Rendimiento en toneladas por hectárea de tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver. 2013-2014.....	65
<b>Figura 30.</b> Color de fruto indicado al momento de madurez de cosecha de las variedades de pitahaya: a) ‘Ana’, b) ‘Juana’, c) ‘Carlos’.....	66
<b>Figura 31.</b> Frutos de tres variedades de pitahaya: a) ‘Ana’, b) ‘Juana’, c) ‘Carlos’, en la fase de madurez de consumo. ....	67
<b>Figura 32.</b> Grados Brix registrados en frutos de pitahaya a nivel de variedades en los dos ciclos de evaluación. 2013-2014. ....	67
<b>Figura 33.</b> Grados Brix registrados en frutos de pitahaya a nivel de flujos en los dos ciclos de evaluación. 2013-2014.....	68
<b>Figura 34.</b> Porcentaje de ácido málico registrado en frutos de pitahaya a nivel de variedades en los dos ciclos de evaluación. 2013-2014. ....	69
<b>Figura 35.</b> Porcentaje de ácido málico registrado en frutos de pitahaya a nivel de flujos en los dos ciclos de evaluación. 2013-2014.....	69

## ÍNDICE DE CUADROS DE APÉNDICE

<b>Cuadro A-1.</b> Registro diario de datos climáticos y acumulación de GDD para los dos ciclos de evaluación. Medellín, Ver. 2012-2014. ....	79
<b>Cuadro A-2.</b> Resultados del Análisis de varianza de las variables consideradas en todo el estudio.....	85
<b>Cuadro A-3.</b> Estadísticos de prueba AIC para el crecimiento de fruto (amarre-cosecha). Primer ciclo 2013. ....	86
<b>Cuadro A-4.</b> Estadísticos de prueba AIC para el crecimiento de fruto (amarre-cosecha). Segundo ciclo 2014. ....	86

## I. INTRODUCCIÓN

En las regiones del trópico mexicano, la baja rentabilidad de los cultivos tradicionales, la necesidad de preservar los recursos naturales y de generar recursos económicos para la sociedad, han obligado a una reconversión agrícola para tratar de solventar esta problemática. Ante esta situación se ha hecho indispensable identificar especies frutales con potencial para estas regiones, siendo la pitahaya (*Hylocereus undatus*) una de las especies no tradicionales con un alto potencial de desarrollo y oportunidades de mercado (Del Ángel, *et al.*, 2012).

La pitahaya se ha colocado como un cultivo rentable para diversas regiones de México, específicamente para los estados de Yucatán, Quintana Roo y Puebla (Castillo, 2006). En nuestro país se registra una superficie de 605 ha establecidas con este cultivo, concentrada principalmente en los estados de Yucatán y Quintana Roo, siendo el rendimiento promedio nacional de 4 t ha<sup>-1</sup> (SIAP 2014).

Desde su centro de origen, en las regiones tropicales de América (Rodríguez, 2010), la pitahaya (*Hylocereus* sp.) se ha extendido a diversos países del mundo, como Estados Unidos, Vietnam, Australia e Israel; países que en un periodo corto han desarrollado tecnología de su producción (Merten, 2004).

La pitahaya *Hylocereus* sp. se ha cultivado tradicionalmente a nivel de traspatio, sin embargo, desde hace poco más de 20 años se inició el cultivo especializado intensivo. En poco tiempo ya se ha generado información básica acerca de sus características como planta y una importante experiencia en el manejo y la comercialización de sus frutos, y también se han detectado problemas que requieren de estudio (Castillo, 2006)

La amplia diversidad genética de *Hylocereus* sp. y su extensa distribución geográfica, indican su gran capacidad de adaptación a distintas condiciones ambientales, aunque es sabido que su mayor productividad se registra en climas cálidos sub-húmedos. En los estados de mayor tradición y avances en este cultivo (Quintana Roo, Yucatán y Puebla) se conoce el comportamiento de la planta a lo largo del ciclo, estando definidas las épocas de crecimiento vegetativo, fructificación y cosecha de las variedades propias de cada región, no obstante, en

las zonas donde su aprovechamiento es incipiente o aún se encuentran en estado silvestre, no se cuenta con información del comportamiento relacionado con la fenología (Castillo, *et al.*, 2005).

En México se han realizado estudios sobre fenología descriptiva de la pitahaya, concentrándose más en la parte reproductiva. Se pueden encontrar resultados de investigaciones que tratan sobre la duración de las fases fenológicas de esta especie en regiones como Morelos, Oaxaca, Quintana Roo, Yucatán y Puebla, principalmente. Esta información sirve de base para determinar las fechas de cosecha, épocas de disponibilidad de frutos en cada región, y el comportamiento de este cultivo en la etapa reproductiva (Martínez, 2010; Castillo y Ortiz, 1994; Castillo, 2006). Sin embargo, no en todos los casos se relacionaron los eventos fenológicos propiamente con las condiciones climáticas prevalecientes en cada región.

El desconocimiento de las características fenológicas representa una limitante para alcanzar un buen nivel de productividad de las especies frutícolas, por lo que se requiere desarrollar trabajos de investigación en esta temática a fin de proveer de información a técnicos y productores, y, de esta forma, contribuir a definir la tecnología de manejo de dicha especie.

## **1.1 Objetivos**

1. Determinar la relación de los elementos del clima con el desarrollo de la pitahaya en la región central de Veracruz.
2. Caracterizar la fenología de tres variedades de pitahaya: ‘Ana’, ‘Juana’ y ‘Carlos’, bajo las condiciones climáticas de la región central de Veracruz y con base en su requerimiento térmico.
3. Modelar el crecimiento de fruto de tres variedades de pitahaya en relación con la acumulación de grados día desarrollo.

## **1.2 Hipótesis**

1. Los elementos del clima como la temperatura y la precipitación determinan el comienzo y duración de las fases fenológicas de la pitahaya.
2. El requerimiento térmico de la pitahaya puede diferir entre variedades y entre cada etapa fenológica.
3. Es posible ajustar un modelo de regresión con base en acumulación de calor para describir el crecimiento de fruto de la pitahaya.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Antecedentes

En el año 2005 el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) - Campo Experimental Cotaxtla, inició la colecta de materiales de pitahaya por distintos estados de la República, dando como resultado la creación de un Banco de Germoplasma *in situ*, con el fin de evaluar el comportamiento y adaptación de dichas accesiones en la Región Central de Veracruz.

### 2.2 La pitahaya (*Hylocereus undatus*)

Pitahaya es el nombre común que reciben las plantas del género *Hylocereus* y se considera uno de los recursos genéticos con mayor potencial para la fruticultura. La historia agrícola de esta planta data de la época precolonial y principalmente se ha cultivado en huertos familiares. La diversidad biológica de *Hylocereus* sp. es poco conocida, incluyendo los tipos cultivados en traspatios y en las plantaciones recién iniciadas. En México, los materiales estudiados han procedido principalmente de huertos familiares (Castillo, 2006).

En nuestro país se reporta una superficie de 606 hectáreas destinadas a la producción de este cultivo, concentrándose principalmente en los estados de Yucatán, Quintana Roo, Puebla y Guerrero. El rendimiento promedio nacional es de 4 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2014).

#### 2.2.1 Taxonomía

En Latinoamérica el término pitahaya hace referencia a varias especies y frutos, lo cual dificulta en ocasiones su clasificación botánica (Cálix, 2004); sin embargo, este complejo está agrupado en cuatro principales géneros: *Stenocereus* (Britton & Rose), *Cereus* (Mill), *Selenicereus* (A. Berger Riccob) e *Hylocereus* Britton & Rose (Mizrahi y Nerd, 1997; Britton y Rose, 1967).

El origen de *Hylocereus* no está completamente aclarado. Fouqué (1972) propuso que es originaria de México o Colombia. Legaria *et. al.* (2005), al evaluar la diversidad genética de colectas de *H. undatus* provenientes de nueve estados de México y una colecta de

Colombia, detectó alta variabilidad genética (polimorfismo entre colectas de 92.5 %) en las poblaciones de pitahaya. La colecta de Colombia fue agrupada con la mayoría de las colectas mexicanas, lo que indica un origen común. Adicionalmente, detectó un grupo de materiales procedente de los estados de Hidalgo, México y San Luis Potosí que difiere del resto de las colectas en su genotipo RAPD, lo que sugiere que en México existe variabilidad genética endémica y que el país es uno de varios centros de diversidad de *H. undatus*.

La nomenclatura de *Hylocereus undatus* según Gunasena *et al.* (2007) es la siguiente:

Reino: Plantae (Plantas)  
Subreino: Tracheobionta (plantas vasculares)  
Supervisión: Spermatophyta (plantas con semillas)  
División: Magnoliophyta (plantas con flores)  
Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas)  
Orden: Caryophyllales  
Familia: Cactaceae  
Subfamilia: Cactoidea  
Tribu: Hylocereae  
Género: *Hylocereus* (Berger) Britt & Rose  
Especie: *Hylocereus undatus* (Haw.) Britt & Rose

Fuente: Britton y Rose (1963); ISB (2002); NPDC (2000).

La especie *H. undatus* se considera la de mayor importancia económica en México, dado que sus frutos son apreciados y fácilmente comercializados en mercados locales y regionales, además de tener demanda en los mercados nacional y extranjero (Ortiz, 1999).

### **2.2.2 Características botánicas de *Hylocereus undatus***

La pitahaya es una planta perenne, de rápido desarrollo, trepadora, con tallos triangulares o excepcionalmente tallos de cuatro o cinco lados (Mizrahy y Nerd, 1999).

**Tallos:** son carnosos, trepadores, con muchos segmentos ramificados. Cada segmento

tiene tres costillas onduladas con márgenes duros y de una a tres espinas, o algunas variedades pueden carecer de espinas. Los tallos están divididos en segmentos o artículos de 50 a 150 centímetros de largo (Cálix, *et al.*, 2005) mismos que forman raíces aéreas que se adhieren, trepan y permanecen erectas. Estas raíces les permiten trepar por las rocas, árboles o adherirse a las paredes y formar una densa biomasa (Mizrahy y Nerd, 1999).

Cada areola tiene de dos a cinco espinas cortas y afiladas, éstas son muy importantes porque constituyen las yemas vegetativas y reproductivas, es decir dan origen a las ramas y a las flores de la pitahaya (Cálix, *et al.*, 2005).

El tallo puede alcanzar seis metros o más, dependiendo de las condiciones de crecimiento. En esta especie los estomas están hundidos en la epidermis y los tejidos del tallo contienen un volumen considerable de parénquima, sin embargo no tienen una capa de cera. No obstante estas características, la tolerancia al estrés hídrico es menor en comparación con *H. polyrhizus* (Mizrahy y Nerd, 1999).

**Raíces:** Como cactácea, las raíces de la pitahaya poseen características de tipo xerófito, pues se han adaptado a condiciones adversas; gracias a sus características terrestres y epífitas, disponen de raíces basales ancladas al suelo, extractoras de nutrimentos constituidas en una red que puede extenderse hasta 80 cm de diámetro alrededor de la base de planta hasta a profundidades de 2 a 35 cm (Del Alba, 2003).

Entendiendo que esta especie se encuentra dentro de la clase Magnoliopsida o de las Dicotiledóneas (Gunasena *et al.*, 2007), según Cálix *et al.* (2005), las pitahayas que nacen de semilla, tienen dos tipos de raíces: a) una principal, que se desarrolla de la radícula y que al poco tiempo se atrofia, y b) raíces adventicias basales y aéreas. Las raíces adventicias basales nacen en la parte del tallo que está dentro del sustrato, son largas, delgadas y ramificadas y se distribuyen superficialmente en el suelo; las aéreas nacen indistintamente a lo largo de los tallos, preferentemente en la cara plana, sirven principalmente para fijar la planta al soporte, pero también pueden absorber agua y nutrimentos, algunas llegan hasta el suelo. La pitahaya propagada vegetativamente (por tallos) tiene los dos tipos de raíces adventicias (basales y aéreas), pero carece de la raíz principal.

**Flor.** Las flores de *H. undatus* tienen órganos reproductivos femeninos y masculinos, son aromáticas, abren sólo una noche y se cierran en la mañana, miden hasta 40 centímetros de largo y tienen forma de embudo; la parte basal de la flor (ovario) está cubierta de brácteas parecidas a escamas sobrepuestas, grandes y carnosas, éstas se continúan con las brácteas del tubo receptacular, que es más o menos cilíndrico, pero hacia arriba se ensancha en forma de embudo; todas las brácteas de la flor carecen de pelos o espinas; la cavidad nectarial es muy larga y estrecha. Los pétalos y los sépalos no están perfectamente diferenciados, por lo que en conjunto se les conoce técnicamente como perianto; los componentes de la parte exterior de esta estructura son largos y delgados y del mismo color que las brácteas del tubo; los de la parte interior son más anchos y casi siempre blancos (Cáliz *et al.*, 2005).

**Polinización y autoincompatibilidad.** La polinización es esencial para la producción de pitahaya. A medida que las flores abren en la noche, los murciélagos y mariposas las polinizan. En muchos países donde el cultivo es incipiente, la polinización es deficiente debido a la falta de polinizadores naturales, por ello la polinización manual se sugiere para incrementar el amarre de fruto (Pushpakumara, *et al.*, 2005).

*H. undatus* tiene un débil mecanismo de autoincompatibilidad, sin embargo se puede lograr una buena polinización mediante polinización cruzada o clones compatibles (Litchenzveig, *et al.*, 2003; Nerd y Mizrahi, 1997). Por lo tanto, para evitar un bajo porcentaje de amarre de fruto se recomienda tener establecidos diferentes genotipos en una misma plantación. Aunque la información es escasa, los experimentos conducidos por Tel-Zur *et al.* (2004), Litchenzveig *et al.* (2000) y Weiss *et al.* (1994) mostraron que algunas especies de *Hylocereus* se cruzan fácilmente con otras (compatibilidad cruzada).

**Características del fruto.** El fruto es una baya grande. La cáscara puede ser roja, amarilla o púrpura, y está cubierta de brácteas grandes. La pulpa puede ser blanca, amarilla, rosada o roja, dependiendo de la variedad (Cáliz, *et al.*, 2005).

Los frutos se desarrollan tanto del ovario (pulpa), como del receptáculo que rodea el ovario (cáscara). La pitahaya es un fruto no climatérico. En madurez óptima el fruto se torna de color rojo-rosado o amarillo, y las brácteas permanecen de color verde. La parte comestible

del fruto corresponde al mesocarpio, con una textura mucilaginosa con miles de semillas pequeñas y suaves distribuidas de forma homogénea en la pulpa. La pulpa representa del 60 al 80% del peso del fruto maduro en la mayoría de las especies de *Hylocereus* (Stintzing, *et al.*, 2003).

De acuerdo con algunos autores, las especies de *Hylocereus* con pulpa blanca tienen un mayor contenido de sólidos solubles que las de pulpa roja (Wu y Chen, 1997), y la distribución de sólidos solubles en la pulpa no es homogénea, la parte central es más rica en azúcares que la periferia. Los sólidos solubles consisten principalmente de azúcares reducidos, específicamente glucosa y fructosa, en cantidades que van de 30 a 55 g L<sup>-1</sup> y de 4 a 20 g L<sup>-1</sup>, respectivamente, dependiendo de la variedad o el cultivar. Mediante métodos enzimáticos algunos autores han encontrado contenidos de sacarosa en un 2.8 al 7.5 % del total de azúcares (Stintzing, *et al.*, 2003). La acidez de la pulpa, en general, es baja respecto a otros frutales tropicales como la naranja (1-4%) (Russian, 2006) y el mango (1-2%) (Siller *et al.*, 2009), considerando que el porcentaje de ácido málico, para que un fruto de pitahaya mantenga un buen sabor, debe ser de 0.24 % (Osuna *et al.*, 2011). La calidad sensorial del jugo de pitahaya es mejorada considerablemente al mezclarlo con el jugo de una fruta más ácida, por ejemplo, el limón. El contenido de proteína varía considerablemente, algunos autores reportan un contenido de 0.3 a 1.5%. El principal aminoácido presente en el jugo de pitahaya parece ser la prolina (Stintzing, *et al.* 2003; Stintzing, *et al.* 2001).

### **2.2.3 Requerimientos bioclimáticos de la pitahaya**

#### **2.2.3.1 Temperatura**

La temperatura afecta casi todos los procesos de las plantas, incluyendo la absorción de CO<sub>2</sub> y por lo tanto el crecimiento. Para *H. undatus*, las temperaturas del aire óptimas (día/noche) para una absorción neta de CO<sub>2</sub> son 30/20 °C, valores relativamente altos comparados con las temperaturas óptimas para las plantas MAC. Debido a que la mayor absorción neta de CO<sub>2</sub> ocurre en la noche, las temperaturas nocturnas son cruciales para dicha absorción y en cierta forma son más importantes que las temperaturas diurnas. Las temperaturas nocturnas óptimas para la absorción neta de CO<sub>2</sub> para los cactus nativos de las

regiones áridas o semiáridas oscilan entre 10 a 15 °C (Nobel, 1988). Aparentemente, estas temperaturas más altas, reflejan las características de las regiones tropicales de donde es nativa la pitahaya. Con temperaturas del aire por encima de 42/32 °C, se produce una pérdida neta de CO<sub>2</sub> en un período de 24 horas, indicando que esta especie no está adaptada a temperaturas tan altas (Lüttge, 1997; Benzing, 1998).

Las plantas de pitahaya no toleran las temperaturas muy extremas, ya que, por debajo de 15 °C reducen su actividad fisiológica y temperaturas menores a 7 °C pueden provocar daños en tejidos; por otra parte, temperaturas superiores a 30 °C reducen su eficiencia fotosintética y por encima de los 35 °C pueden sufrir quemaduras, sobre todo si se exponen al sol durante un largo periodo (Nobel y de la Barrera, 2002a).

Bárceñas (2002) determinó el rango de temperatura donde se presenta el crecimiento de *H. undatus*, encontrando que la temperatura base para el crecimiento de la especie es de 7 °C, y la temperatura umbral máxima es de 40 °C, mientras que las temperaturas letales mínima y máxima son 5 y 45 °C, respectivamente; asimismo observó una máxima tasa de crecimiento durante la noche a los 15 °C, por lo cual se considera este valor como la temperatura óptima de crecimiento. Debido a que esta especie presenta el mecanismo ácido de las crasuláceas, se puede entender, que a diferencia de las plantas C3 o C4, la temperatura óptima a la que se registran los eventos fisiológicos sea menor, ya que corresponde a los valores de temperatura que se registran durante la noche.

### **2.2.3.2 Precipitación**

A diferencia de otros cactus, originarios de zonas desérticas, la pitahaya tiene su origen en zonas con buen nivel de precipitación, de 1730 a 2540 mm anuales. Se considera que 1200 mm de lluvia al año en promedio, son suficientes para que el cultivo prospere de forma óptima. No obstante, como la floración se inicia en la época seca (mayo), se requiere suministrar riegos cada cinco días durante la época de sequía. En regiones de mayor precipitación se puede esperar la caída y pudrición de las flores, observándose que para su buen desarrollo y para la formación de yemas florales se requiere de un periodo seco bien marcado (Del Ángel, *et al.* 2012).

### 2.2.3.3 Luz

El grado de luminosidad es un factor fundamental en el desarrollo de la pitahaya, ya que las plantas no toleran la intensidad luminosa fuerte y directa, por lo que es necesario establecer un tutor antes del trasplante (Nobel y de la Barrera, 2002a).

*Hylocereus undatus* se encuentra en bosques tropicales con un periodo seco muy marcado y, por ende, con diferencias estacionales en la cantidad de follaje de los árboles tutores en que habita. Por tanto, el flujo de fotones para fotosíntesis (FFF; longitud de onda de 400-700 nm) que *H. undatus* recibe cambia drásticamente durante el año. Por ejemplo, en el dosel de una selva baja caducifolia, un sitio en el que *H. undatus* también crece, dos especies de epifitas MAC reciben tres a nueve veces más FFF en el periodo seco que en el de lluvias (Graham y Andrade, 2004).

Los cambios en FFF durante el año afectan el crecimiento de la pitahaya porque la fijación de CO<sub>2</sub> disminuye bajo sequía y con altos valores de FFF (Raveh *et al.*, 1995; Ortiz *et al.*, 1999); por ello, en plantaciones comerciales de pitahaya se usa sombra artificial que atenúa 30 a 60% de la radiación (Nobel y De la Barrera, 2004).

El exceso de sombra afecta la producción y calidad de frutos, aunque el crecimiento vegetativo se favorece con cierta densidad de sombra menor a 50%. Algunas especies como *H. polyrhizus* y *H. costaricensis*, toleran más la luz, posiblemente por tener una cáscara más gruesa y cerosa (Del Ángel, *et al.* 2003).

### 2.2.4 Condición MAC de la pitahaya

Los patrones de absorción neta del CO<sub>2</sub> de los tallos de *Hylocereus undatus*, por periodos de 24 horas, son característicos de las plantas con la ruta del Metabolismo Ácido Crasuláceo (MAC) para la fotosíntesis, una ruta utilizada por el 7% de cerca de 30 mil especies de plantas vasculares (Nobel, 1991; Winter y Smith, 1996). Así como en otras especies MAC, la absorción neta del CO<sub>2</sub> por *H. undatus* ocurre principalmente en la noche. En particular, bajo condiciones húmedas y temperaturas moderadas, cerca del 85% de la asimilación del CO<sub>2</sub> ocurre durante la noche, que es el mayor periodo de apertura estomática.

Esta inversión día/noche del patrón de absorción del CO<sub>2</sub> comparado con la mayoría de las plantas disminuye la pérdida de agua por las plantas MAC. La absorción del CO<sub>2</sub> por la noche (Fase I de las plantas MAC) involucra la transformación del CO<sub>2</sub> a un compuesto de tres carbonos catalizado por el fosfoenolpiruvato carboxilasa, originando la formación de ácidos orgánicos que están almacenados en las vacuolas de las células fotosintéticas. En *H. undatus*, parte de la absorción del CO<sub>2</sub> ocurre en las primeras horas de la mañana e involucra la degradación del CO<sub>2</sub> por la ribulosa 1-5 bifosfato carboxilasa/oxigenasa y también al atardecer, mientras el CO<sub>2</sub> se libera durante el mediodía cuando los ácidos orgánicos formados durante la noche anterior se descarboxilan, originando una alta concentración de CO<sub>2</sub> dentro del tallo (Nobel, 1988).

Las temperaturas del aire y del tallo tienden a disminuir en la noche, lo cual es clave para apreciar los aspectos de conservación de agua de las plantas MAC. Las bajas temperaturas disminuyen la pérdida de agua, porque el aire en los espacios intercelulares del tallo está esencialmente saturado con el vapor de agua, la presión de saturación de vapor de agua se incrementa exponencialmente con la temperatura y, por un grado dado de apertura estomática, la tasa de transpiración depende del diferencial de presión de vapor de agua del tallo hacia el aire del medio (Nobel, 1999).

Debido a la apertura estomática, que es preferentemente nocturna y, por lo tanto, una asimilación de CO<sub>2</sub> también nocturna, la eficiencia en el uso de agua (proporción de CO<sub>2</sub> fijado en relación al agua transpirada) es típicamente mayor en las plantas MAC que para las plantas C<sub>3</sub> o C<sub>4</sub>. En particular, la asimilación neta de CO<sub>2</sub> diaria para *H. undatus* bajo condiciones húmedas puede ser de 232 mmol m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> (Nobel y De la Barrera, 2002b). Esto es acompañado por una pérdida de agua diaria total de 53 mol m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, conduciendo a una eficiencia en el uso de agua de 232 mmol m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>/53 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, o 0.0044 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O. Tal eficiencia en el uso de agua para *H. undatus* es característico de las plantas MAC, que es dos a cinco veces mayor que para las especies C<sub>3</sub> o C<sub>4</sub> bajo condiciones comparables (Nobel, 1999).

### **2.2.5 Condiciones de suelo**

La pitahaya puede crecer en una amplia diversidad de suelos, con buen drenaje y preferentemente suelos ligeramente ácidos. Los mejores suelos para el cultivo son los arcillosos con buen contenido de materia orgánica, aunque puede tolerar cierto nivel de salinidad en el suelo, dependiendo de cada variedad. El nivel de pH óptimo para el cultivo es entre 5.3 y 6.7 (Castillo, *et al.* 2005).

### **2.3 Estudios fenológicos**

La fenología se considera una rama de la Ecología que estudia las relaciones entre las condiciones ambientales y los fenómenos o acontecimientos periódicos en la vida vegetal y animal, donde se estudian fenómenos recurrentes, que sean fácilmente observables. Cuando se aplica al estudio de las plantas, se denomina fitofenología o simplemente fenología (Elías y Castelvi, 2001).

Riaza (2012) define la fenología como la ciencia que estudia los fenómenos biológicos que se presentan periódicamente, acomodados a ritmos estacionales y que tienen relación con el clima y con el curso anual del tiempo atmosférico en un determinado lugar. Se trata de una disciplina fenomenológica, es decir, fundamentalmente descriptiva y de observación, que requiere método y precisión en el trabajo de campo. Es una ciencia interdisciplinaria y utiliza conocimientos tanto de fisiología y ecología, como de meteorología y climatología.

El interés de los estudios fenológicos se debe a que sintetizan las acciones de diversos elementos del clima sobre el comportamiento de las plantas, utilizándolos como bioindicadores. Desde un punto de vista práctico, los estudios fenológicos permiten trazar regiones agrícolas naturales y, de acuerdo con ello, realizar una ordenación de cultivos, una selección de variedades más adaptadas, adecuar las prácticas de cultivo, realizar previsiones referentes a fechas de cosecha, entre otros aspectos. Inicialmente, las observaciones fenológicas se llevaron a cabo en vegetación espontánea, si bien, cada vez fueron adquiriendo mayor interés las plantas de cultivo y en especial los frutales. No obstante, cabe señalar que las plantas silvestres suelen ser mejores bioindicadoras como plantas guía (Cid, 2005).

Al hablar de fenología debe tenerse en cuenta el significado de fase, que en este contexto se define como la aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos de las plantas (De Fina y Ravelo, 1979). Las fases se utilizan para dividir el periodo vegetativo en subperiodos, pudiendo ser visibles, como por ejemplo: germinación, principio de amacollamiento, brotación de ramas, floración, fructificación, principio de la maduración de los frutos, etc., o, bien, las fases pueden ser invisibles, por ejemplo, cuando se alcanza el peso máximo de los frutos, el principio del desarrollo de ramas laterales, etc. En una parcela con un mismo cultivo, es notorio que una misma fase no se presenta en la misma fecha, sino que el fenómeno aparece con diferencias muy notables de una planta a otra, de varios días inclusive (Romo y Arteaga, 1989).

Las observaciones fenológicas tienden a registrar las épocas y la frecuencia con que se repiten los fenómenos periódicos de los vegetales. Para que las observaciones sean válidas y comparables es importante cumplir con normas generales, como son: Planear un correcto diseño experimental para las observaciones fenológicas, que los cultivos sean representativos de las características ecológicas regionales, seleccionar un sitio natural sin sombras, lejos de edificios, árboles u otras obstrucciones. El área de observación debe contar con una red de estaciones meteorológicas lo suficientemente densa, siendo lo ideal contar con una estación por cada sitio seleccionado para hacer las observaciones fenológicas, finalmente, las anotaciones fenológicas deben hacerse en formatos preparados previamente, indicando en ellas el día y, de ser posible, la hora en que se registró el fenómeno (Romo y Arteaga, 1989).

#### **2.4 Pronóstico de fenología – Grados día desarrollo**

El tiempo térmico combina el tiempo con la temperatura. Se ha usado para predecir la fenología de los cultivos, y se ha expresado históricamente a través de diferentes términos: Constante térmica, unidades térmicas, unidades calor, grados día desarrollo y grados día crecimiento. Es difícil predecir el crecimiento de las plantas con base en un calendario o fechas, ya que las temperaturas pueden variar ampliamente de año a año. En cambio, el uso de los grados día desarrollo, basados en las temperaturas actuales, es una forma simple y acertada para predecir ciertos estados de desarrollo de las plantas (Miller, *et al.*, 2001).

Todas las plantas deben “consumir” o acumular determinada cantidad de calor, medida en grados – día o unidades calor. Dicha cantidad es aproximadamente constante de acuerdo a la especie considerada y se le denomina constante térmica (Villalpando, 1993). La constante térmica se define como la cantidad de temperatura acumulada que necesita una especie vegetal para completar su ciclo vegetativo. La constante térmica de una especie cultivada en diferentes regiones climáticas es la misma, pero será cubierta en diferente cantidad de tiempo, dependiendo de los regímenes térmicos que se presenten. Es recomendable calcular la constante térmica por variedades y por subperiodos o etapas fenológicas.

Debido a las variaciones anuales del clima, las fechas del calendario no son una buena base para decisiones de manejo. Medir la cantidad de calor acumulado en el tiempo, provee una escala de tiempo fisiológico que es biológicamente más precisa que los días calendario (Grageda *et al.*, 2002).

La temperatura base o cero vital es el nivel térmico a partir del cual una especie determinada comienza a crecer, y por debajo de la cual no reporta ninguna utilidad al vegetal para su desarrollo (De Fina y Ravelo, 1978). Este parámetro es importante para el cálculo de la acumulación de calor (Miller, *et al.*, 2001).

Respecto al manejo de especies frutales, el estudio de la fenología es indispensable para obtener una buena producción (Salazar *et al.*, 2006). El conocimiento de la duración exacta de las etapas fenológicas y su interacción con los factores ambientales, es esencial para alcanzar los máximos rendimientos (Prabhakar *et al.*, 2007). En este sentido, la temperatura es el elemento del clima más determinante en el desarrollo de las plantas. Los grados día desarrollo (GDD) o unidades calor son los índices más utilizados para estimar tal desarrollo (Qadir *et al.*, 2007).

Desde 1970, cuando Reamur introdujo el término de unidades calor o tiempo térmico, se han utilizado muchos métodos para calcular las unidades calor. En el área de la fenología agrícola y el desarrollo de los cultivos, el concepto de unidades calor, medidos en grados día desarrollo (GDD), han mejorado la descripción y la predicción de los eventos fenológicos de las plantas, en comparación con otras aproximaciones como la época del año o el número de

días (Cross y Zuber, 1972; McMaster, 1993). La forma más aceptada para el cálculo de los GDD es el método residual, mediante la ecuación (1):

$$GDD = \left( \frac{TMAX - TMIN}{2} \right) - TBASE$$

Donde, TMAX es la temperatura máxima diaria del aire, TMIN es la temperatura mínima diaria del aire y TBASE es la temperatura debajo de la cual el proceso de interés no progresa. La temperatura base varía entre especies y posiblemente entre cultivares. Esta ecuación describe la energía en forma de calor recibida por el cultivo en cierto tiempo (McMaster y Wilhelm, 1997).

Se han sugerido modificaciones a la ecuación para resaltar el significado biológico del método, como son incorporar una temperatura umbral máxima o funciones de otros factores ambientales que afecten la fenología (McMaster *et al.*, 1992).

## 2.5 Fenología de la Pitahaya

El estudio de la fenología se centra en la observación de los cambios en la morfología externa de la planta, con la aparición, transformación o desaparición relativamente rápida de determinados órganos, estos sucesos se denominan fases fenológicas. La elección de indicadores adecuados, tipo y órgano de la planta, así como el periodo de observación, resultan esenciales en las investigaciones fenológicas. En frutales, se consideran como indicadores significativos las fechas de floración y maduración. El conteo al azar de flores y frutos, así como el peso de éstos, constituyen indicadores para la evaluación de cosechas (Elías y Castelvi, 2001).

La información sobre la fenología reproductiva y el rendimiento de la pitahaya en México es limitada (Martínez, 2010). Al tenerse una amplia diversidad de variedades a lo largo del territorio, el comportamiento de éstas es variable y los periodos de crecimiento vegetativo y reproductivo pueden variar de un genotipo a otro.

En las pitahayas cultivadas, la etapa reproductiva (desarrollo de flores y frutos), puede

ocurrir desde el primer año. El número de flores y, por consiguiente de frutos, es muy reducido al principio, pero durante los siguientes años, la producción aumenta paulatinamente hasta estabilizarse entre los seis y siete años. Las plantas de los huertos especializados pueden mantenerse productivas hasta los 15 ó 20 años, dependiendo del manejo (Cálix *et al.*, 2005).

Castillo y Ortiz (1994) evaluaron la floración y fructificación de pitahaya en la región Valles Centrales de Oaxaca, registrando el tiempo de la emisión de los botones florales hasta la antesis, el inicio de la coloración del pericarpio o maduración, y el inicio de la dehiscencia de los frutos, registrando también las temperaturas y precipitaciones máximas del año. Encontraron que el periodo reproductivo de las plantas ocurrió de mayo hasta inicios de septiembre, con una duración aproximada de 125 días, en este periodo registraron tres etapas traslapadas de floración y fructificación. El periodo de floración comenzó con el inicio del periodo de lluvias en dicha región, lo cual también coincide con lo reportado en regiones productoras como Colombia (Becerra, 1986). Dependiendo de las condiciones climáticas, el tiempo de desarrollo de las flores para cada periodo fue muy diferente; entre la emisión de los botones florales y la antesis se registraron 10, 21 y 31 días, para el primer, segundo y tercer periodo, respectivamente. El número de yemas florales emitidas durante el primer periodo fue muy bajo en comparación a los dos periodos siguientes. De acuerdo Castillo y Ortiz (1994) las altas temperaturas registradas en la primera brotación pudieron propiciar que la antesis se presentara en un lapso muy corto, requiriendo solo 10 días.

El desarrollo de flores y frutos está estrechamente relacionado con la estación lluviosa; la emergencia de las yemas florales tiene efecto después de las primeras precipitaciones; el resto del período reproductivo ocurre cuando las lluvias están bien establecidas. La mayor producción de los frutos de pitahaya coincide con el solsticio de verano (de junio a septiembre), donde los días son más largos que las noches, es decir, cuando hay mayor cantidad de horas-luz. Dependiendo de las condiciones de la región, cada año pueden registrarse de cuatro a seis ciclos de desarrollo de flores y frutos, que se traslapan. Cada ciclo comprende tres fases: a) la emergencia de botones florales y su desarrollo hasta la floración, puede durar de 10 a 31 días; b) la antesis, donde cada flor abre sólo una vez en la noche, y todas las flores de la planta pueden florecer en un lapso tres a cinco días, y, c) de la antesis a la maduración fisiológica del fruto (inicio del cambio de color de la cáscara), que puede durar de

27 a 39 días. La maduración de los frutos de toda la planta puede ocurrir en tres a cinco días (Cálix, *et al.*, 2005).

A la fecha no existe un dato certero que confirme una época exacta de la diferenciación floral en *Hylocereus undatus*; Castillo y Ortiz (1994) mencionan que posiblemente esta diferenciación ocurre en el mismo año de la floración como en el caso de la tuna, ya que observaron un hinchamiento en la zona del haz vascular; también reportan que la brotación de botones florales en cada periodo, ocurrió en un lapso de dos a tres días.

Martínez (2011) realizó un estudio sobre la fenología reproductiva, rendimiento y calidad de fruto de seis genotipos de pitahaya (CP-152, CP-154, CP-171, CP-175, CP-178 y CP-182) con diferencias en color del exocarpio y pulpa del fruto en Tepoztlán, Morelos; Registró el tiempo de aparición y producción de yemas florales, flores y frutos por planta; la cantidad y fecha de aborto de yemas florales y flores; el periodo en días de la brotación de yemas florales a antesis y de antesis a madurez de fruto. Obtuvo las proporciones flores/yemas florales, frutos/flores y frutos/yemas florales y el rendimiento de fruta por planta, así como características de calidad física y química. Como resultados encontró que entre un 30-39% de yemas abortaron, así como del 59 al 73% de flores. El amarre de flores/yemas varió entre 32 y 83%, el de frutos/flores entre 24 y 54%, y el amarre de frutos/yemas florales varió de 2 a 42%. El rendimiento de fruto varió de 1.5 a 3.1 kg planta<sup>-1</sup>.

Si las lluvias caen cuando ocurre la floración o uno o dos días después de ésta, el porcentaje de frutos que logran su desarrollo se reduce drásticamente, debido a que el ovario de las flores se pudre. En *Hylocereus undatus*, se ha visto que cuando el efecto de las lluvias es muy severo, puede podrirse más del 80% de las flores de un ciclo, mientras que, en circunstancias favorables, más del 80% de las flores desarrollan frutos. El efecto desfavorable de las lluvias se acentúa en las regiones con mayor humedad (Cálix, *et al.*, 2005).

Está reportado que la temperatura y la intensidad lumínica en días calurosos afectan la floración; en días nublados y calurosos, las flores pueden abrirse alrededor de las 4 pm, mientras que, en temperaturas más bajas, el marchitamiento puede retrasarse hasta la 1:00 am. Si las flores no son polinizadas por la noche, éstas permanecen abiertas hasta la mañana

siguiente. El desarrollo de un botón floral a una flor completamente abierta lleva de 25-35 días, cabe aclarar que esta respuesta se obtiene en países productores como Israel (Pushpakumara, *et al.*, 2005).

Cálix, *et al.* (2005) reportaron, mediante un estudio realizado en Tabasco, que desde la brotación de la yema floral a la cosecha, transcurrieron de 43 a 47 días; desde que la flor elimina la corola, hasta la cosecha, transcurren de 27 a 29 días; encontró también que en el cultivo se presentaron 5 floraciones, la primera inició los últimos días de mayo y principios de junio; mientras que la quinta se desarrolló durante los primeros días de septiembre. La primera cosecha se realizó a principios de julio, la segunda se llevó a cabo a mediados de agosto, la tercera a finales de agosto y la cuarta a mediados de septiembre. El tamaño del fruto varió de 7 a 8.8 cm en la parte ecuatorial y de 8.3 a 11.9 cm en la posición polar, siendo su peso de 220 a 350 g.

En países como Sri Lanka, la producción de flores es usualmente de abril a noviembre, algunas veces se extiende hasta diciembre y ocurre en cuatro a seis flujos (Pushpakumara, *et al.*, 2005). La floración es inducida por días largos, por lo tanto, es una especie sensible al fotoperiodo. Sin embargo, el efecto del fotoperiodo depende de la temperatura, y el tiempo transcurrido, de la inducción fotoperiódica a la floración, se incrementa cuando la temperatura sobrepasa el punto óptimo (Feng-Ru y Chung-Ruey, 1997).

Según Cálix, *et al.* (2005), en la mayoría de las especies mexicanas, el período reproductivo que comprende desde la brotación de los botones florales hasta la maduración de los últimos frutos, puede ocurrir desde mayo a diciembre; pero las cosechas más altas se obtienen entre junio y mediados de septiembre, cuando se cosechan más del 90% de los frutos. En estos meses de máxima producción, se registran tres ciclos o subperiodos con alta producción de frutos. Las cosechas de estos tres ciclos están separadas por aproximadamente 25 días.

En la región centro de Sinaloa la floración de pitahaya se presenta durante el verano y otoño (junio-octubre), cuando la temperatura media es de 29 y 26 °C, respectivamente. Las flores aparecen por etapas, inclusive hay traslape entre flujos de flores, registrándose entre

cinco y ocho periodos de floración continua por año. El número de botones florales, así como los frutos cosechados, se incrementan entre el segundo y cuarto año de evaluación, con un descenso en el quinto año (Osuna, 2006).

Centurión *et al.* (2008), al evaluar el periodo de producción de pitahaya en Yucatán, encontró que la maduración de los frutos ocurrió entre los 25 y 31 días después de la apertura floral, a una temperatura media de 26.1 °C y 73.9 mm de precipitación. A los 31 días, el crecimiento era aún activo, y se consideró esa edad como límite de cosecha para evitar el agrietamiento de la cáscara.

No obstante, la información disponible sobre la fenología de la pitahaya en otras regiones del mundo y de México, la duración de las fases fenológicas difiere en relación con los elementos del clima para cada zona de producción. En la región centro del estado de Veracruz se han evaluado accesiones de pitahaya provenientes de diferentes estados como Quintana Roo y Puebla, sin embargo, se desconoce a detalle la duración de las fases fenológicas de las accesiones originarias del mismo Estado.

## **2.6 Aspectos de calidad de fruto de pitahaya**

Nerd *et al.* (1999) describen los frutos de *Hylocereus* como no climatéricos, frutos que no pueden continuar el proceso de maduración después de separarse de la planta. Por lo tanto, el tiempo de cosecha tiene una gran influencia en la calidad de fruta. Cuando se cosechan cerca de la coloración completa, los frutos conservan la calidad del mercado por lo menos dos semanas a 14 °C y, una semana a 20 °C. Según Vaillant *et al.* (2005), el mesocarpio del fruto contiene alrededor de 82-88 % de agua, y un contenido de sólidos solubles totales de 7-11%.

En frutos cultivados en Quintana Roo, Mex., Castillo, *et al.* (2005) encontró valores de grados Brix entre 12 y 14.1 para frutos de pericarpio rojizo y, de acuerdo con la caracterización de fruto, los valores de diámetro de fruto oscilaron entre 6.7 y 8.8 cm, con una altura de 7.4-9.6 cm y un peso entre 212 a 436.5 g.

En el jugo de pitahaya, el principal ácido orgánico presente es el ácido málico en concentraciones alrededor de 7.2 mg L<sup>-1</sup>, mientras que la acidez en estado de madurez de

consumo es baja (Stintzing *et al.*, 2003).

Inicialmente se consideraba que el contenido de vitamina C en los frutos de *Hylocereus* era bajo (Stintzing *et al.*, 2003; Vaillant *et al.*, 2005); sin embargo, otros autores encontraron contenidos similares a los de otras frutas tropicales, oscilando entre 0.26 y 0.58 g L<sup>-1</sup> (Esquivel *et al.*, 2007). Wu *et al.* (2006) estudiaron el contenido de fenoles totales en pitahaya roja, así como la actividad antioxidante y antiproliferativa en células del melanoma, a fin de determinar si se trata de una valiosa fuente de antioxidantes y agente anticancerígeno. Sus resultados mostraron que la pulpa y la cáscara son ricas en polifenoles y buenas fuentes de antioxidantes, e inhiben el crecimiento de las células del melanoma.

En variedades de pitahaya cultivadas en el estado de Morelos, Martínez (2011) encontró que la concentración de sólidos solubles totales (SST) (° Brix) fue de 14.5-17.6 en la parte central, siendo menor en la periferia por hasta 7 unidades; en frutos de pulpa roja y magenta, el contenido de SST fue mayor que en la pulpa blanca. La relación °Brix/acidez osciló entre 39.0 a 48.6 y, el rendimiento de producción de jugo, varió entre 65.9 y 85.6 mL por 100 g de pulpa.

En un estudio realizado en Yucatán, Centurión *et al.* (2008) encontró que a los 31 días después de la floración, los valores de firmeza de fruto fueron de 6.3 Newtons, un contenido de SST de 12.6° Brix, una acidez de 0.4%, y una relación °Brix/acidez de 33.5. La firmeza y la acidez disminuyen con el paso de los días después de la cosecha, mientras que los sólidos solubles totales y la relación °Brix/acidez se incrementan considerablemente después de esta etapa. Normalmente los consumidores prefieren frutos con un mayor contenido de SST, azúcares reductores y una mayor relación °Brix/acidez.

En relación con el tratamiento postcosecha que deben seguir los frutos para ser trasladados a largas distancias y por periodos prolongados, Hernández (2012) estableció que las atmósferas controladas continúan siendo una alternativa de tratamiento físico que preserva la calidad de los frutos, siendo más aceptable esta tecnología para frutos de cáscara amarilla y pulpa blanca, con una temperatura de 6 °C ±1 °C de almacenamiento por 21, 24 y 29 días con el tratamiento adicional de 5% de CO<sub>2</sub>, 18% de oxígeno y 77% de nitrógeno; sin embargo para

una variedad de cascara roja y pulpa blanca esta temperatura no fue favorable, aunque el tratamiento de CO<sub>2</sub>, oxígeno y nitrógeno ayudaron a disminuir los daños por frío, la fruta de esta variedad pudo almacenarse por menos de 24 días antes de que los daños sean visibles.

## **2.7 Modelos de regresión, medidas repetidas y curvas de crecimiento**

Las medidas repetidas se obtienen cuando una respuesta se mide repetidamente sobre la misma unidad experimental (entendida como la unidad básica en la que se realizan mediciones y, que puede ser un fruto, un árbol, una parcela, etc.). El término datos longitudinales hace referencia a una clase especial de medidas repetidas, i.e. aquéllas donde la respuesta se observa en varios momentos subsecuentes en tiempo sobre la misma unidad experimental, y que permite investigar cambios en el tiempo de características que se miden repetidamente sobre el mismo sujeto. Para este tipo de datos nos interesa explorar tanto la variabilidad entre sujetos como la variabilidad correspondiente a observaciones dentro de sujetos (Schabenberger y Pierce, 2001).

Los métodos de regresión se utilizan con frecuencia para analizar datos de experimentos no planeados, como fenómenos no controlados o registros históricos (Montgomery, 1991). Las funciones de regresión lineal simple y múltiple son utilizadas para modelar una amplia variedad de relaciones entre variables respuesta y variables predichas. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) se utiliza para juzgar el grado de ajuste del modelo de regresión lineal simple, no obstante, existen otros estadísticos como el valor AIC (criterio de información de Akaike) que indican mejores ajustes cuando los valores son más bajos, y son estadísticos apropiados para evaluar el ajuste que se obtiene cuando se usa un modelo en particular.

En la modelación de curvas de crecimiento, a diferencia de otras situaciones de mediciones repetidas, donde el objetivo es comparar tratamientos a través de su perfil temporal, se persigue la estimación y predicción del crecimiento en función del tiempo (Thornley y France, 2007). Distintos tipos de ecuaciones que explican el crecimiento en función de un período considerado, son de interés (Arnau y Balluerka, 2004). Debido a que el crecimiento está evaluado a través de mediciones obtenidas sobre un mismo individuo, es

importante modelar la estructura de correlación de las observaciones dentro de sujeto, ya sea para un modelo lineal o no-lineal (Kshirsagar y Smith, 1995).

Algunas funciones como el modelo logístico, pueden expresar el crecimiento o desarrollo en función del tiempo, y se caracteriza por tener forma sigmoidea, un punto de inflexión y dos asíntotas, una superior y otra inferior. El modelo exponencial es válido para crecimientos o decrecimientos continuos en los que las condiciones son siempre favorables (Calvo *et al.* 1994). Rojas *et al.* (2008) encontró que las funciones lineales simple y múltiple, explican adecuadamente el crecimiento de fruto en chile manzano, en función del tiempo.

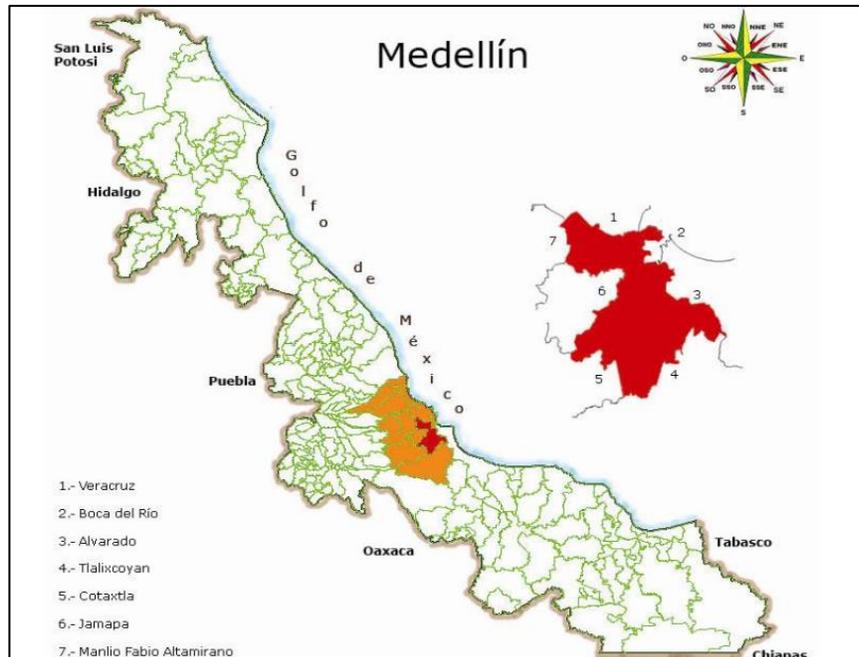
Para cada especie vegetal la acumulación de información de su fenología, permite construir modelos para predecir, con cierta exactitud, el inicio y duración de las etapas fenológicas para una determinada región, ciclo de producción y condiciones meteorológicas.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Sitio experimental

El estudio fue realizado en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP que se ubica en el Municipio de Medellín, Veracruz (Figura 1), en las coordenadas 18° 56' 1.8'' latitud norte, 96° 11' 35.5'' longitud oeste, a una altitud de 10 msnm<sup>1</sup>. El municipio de Medellín presenta un clima cálido tropical subhúmedo con lluvias en verano, catalogado como Aw1 (Soto, 2001).

La precipitación media anual de la región es de 1350 mm, siendo los meses más lluviosos de junio a octubre, donde se presenta el 80 % de las precipitaciones del año. La temperatura media anual es de 26 °C, y las temperaturas media anual máxima y mínima de 31.8 °C y 21.8 °C, respectivamente. Las temperaturas más altas se presentan en el mes de abril y las temperaturas más bajas en el mes de enero, alcanzando valores máximos de 42 °C y temperatura mínimas de 8 °C<sup>1</sup>.



**Figura 1.** Localización geográfica del sitio de estudio: Municipio de Medellín, Veracruz. (Fuente: Gobierno de Veracruz, 2014).

<sup>1</sup> Red de estaciones agroclimáticas del INIFAP.

Los principales fenómenos meteorológicos que alteran el clima de la región son las invasiones de masas de aire frío polar que generan vientos dominantes del norte, mismos que ocurren durante los meses de octubre a mayo con una frecuencia de cada 10 días en promedio, presentándose vientos fuertes con velocidades variables que van desde 45 a 70 kilómetros por hora y rachas que pueden alcanzar de 90 a 120 kilómetros por hora (Díaz, 2006).

### **3.2 Material vegetal y manejo del lote experimental**

Las plantas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) utilizadas para evaluación, se encuentran establecidas en el Banco de Germoplasma del Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP (C.E. Cotaxtla), que incluye materiales colectados en diferentes estados de la República. Se evaluaron las selecciones ‘Ana’, ‘Juana’ y ‘Carlos’, colectadas por el INIFAP en la localidad Loma Iguana, municipio de La Antigua, Veracruz en el año 2006, establecidas a modo de evaluación en los terrenos del campo para valorar inicialmente su comportamiento en la zona. Se realizó el registro de la fenología durante los ciclos 2012-2013 y 2013-2014.

Cada selección consta de ocho plantas establecidas a 2 m entre plantas y 4 m entre hileras, plantadas en el año 2008, conducidas en tutores de concreto y crucetas con tubos de acero galvanizado, sujetadas con alambre galvanizado (Figura 2). La plantación del C.E. Cotaxtla cuenta con un sistema de riego por microaspersión, para efectos de aplicar riegos de auxilio en los meses de enero y marzo; sin embargo, para fines de este estudio, las plantas se sometieron a la disponibilidad de agua proveniente de la precipitación en el primer ciclo (2013), y, debido a las condiciones de baja humedad en el suelo, en el segundo ciclo (2014) fue necesaria la aplicación de un riego en el mes de febrero.

El manejo dado al experimento consistió en dos tipos de poda: 1) poda de sanidad, para eliminar tallos dañados por enfermedad, principalmente pudriciones acuosas del tallo, realizadas una vez concluido el periodo reproductivo; 2) poda de producción, que consiste en cortar de forma drástica los tallos antes del inicio de la brotación floral. Este último tipo de poda, se ha realizado en la plantación del C. E. Cotaxtla en los meses de marzo y abril.



**Figura 2.** Plantación de pitahaya en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP.

Respecto a la fertilización, antes del inicio de la época reproductiva, en ambos ciclos se aplicó la dosis de fertilizante 50-75-50, como se ha realizado cada año desde su establecimiento. El control de malezas se realizó manualmente alrededor de las plantas, cuidando no lastimar las raíces y tallos y, con tractor, entre las calles del experimento.

### **3.3 Registro de datos meteorológicos**

Los registros meteorológicos se obtuvieron de la estación meteorológica ubicada en el Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, cuya información se encuentra disponible en la página de la Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimáticas del INIFAP.

Los elementos considerados para esta evaluación fueron: temperatura ambiental máxima, mínima y media, y precipitación. Se elaboró un registro climático de los dos ciclos de estudio resumiendo el patrón estacional de los elementos considerados. Las fechas de inicio y término de cada ciclo se muestran en el Cuadro 1. El registro climático diario se presenta en el cuadro A-1 del Apéndice.

### **3.4 Registro de la fenología reproductiva de la pitahaya**

Para llevar a cabo el registro, se determinaron las siguientes fases fenológicas reproductivas: Brotación floral (levantamiento de espina), Antesis, Amarre de fruto y Madurez de consumo (Figura 3).



**Figura 3.** Fases fenológicas reproductivas de la pitahaya: a) Brotación, b) Antesis, c) Amarre de fruto y d) Madurez de consumo. Medellín, Veracruz (2013-2014).

Se establecieron también las siguientes etapas fenológicas reproductivas para los fines de este estudio: 1) Brotación-Antesis, 2) Antesis- Amarre, 3) Antesis-Madurez de consumo, y 4) Brotación-Madurez de consumo (periodo completo). Se determinó la fecha de cada fase y la duración en días de las etapas fenológicas para las tres variedades.

### 3.5 Crecimiento de fruto

Se seleccionaron cinco botones de cada una de las plantas por variedad para dar el seguimiento hasta la madurez (Figura 4). Para los botones que lograron un correcto amarre de fruto se realizó el registro del crecimiento hasta la madurez; para lo cual, cada tercer día se registró el diámetro y la longitud de fruto con un vernier, desde la base del fruto hasta el ápice, para el caso de la longitud y en la parte central del fruto para el caso del diámetro.



**Figura 4.** Botones florales de las variedades en evaluación, a) ‘Ana’, b) ‘Juana’, c) ‘Carlos’; siete días después de haber emergido

Para evitar daños por efecto de aves e insectos, los frutos en desarrollo se cubrieron de forma individual con una malla negra hasta la cosecha (Figura 5).

Cuando los frutos llegaron a madurez, se cosecharon y se pesaron para determinar el rendimiento por planta y por variedad. Para este estudio se consideraron dos flujos de brotación floral por cada ciclo (Flujo 2 y Flujo 3).



**Figura 5.** Frutos de pitahaya cubiertos con una malla sombra negra (60 % de sombra), colocadas 22 días después de la antesis y antes de la madurez de fruto, para evitar daño de insectos y aves.

### 3.6 Cálculo de acumulación de calor

Para realizar el cálculo de los grados día desarrollo (GDD), que consideran la temperatura a partir de la cual se estima y que ejerce acción sobre el desarrollo vegetal, se utilizó el Método Residual, que consiste en sumar las temperaturas medias diarias a las que se les resta la temperatura del cero vital de crecimiento o temperatura base.

$$GDD = \left( \frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right) - T_{base}$$

Donde:

T max= temperatura máxima diaria.

T min= temperatura mínima diaria.

T base= temperatura base o cero vital, para la pitahaya se considera es base de 7° C.

El cálculo de GDD se realizó por cada ciclo de evaluación, iniciando la acumulación a partir del término de la cosecha del ciclo anterior, es decir a partir de octubre de 2012 y octubre 2013 (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Fechas de inicio y término de cada ciclo de evaluación para el cálculo de GDD.

Ciclo	Inicio	Término
Primer ciclo (Fin de la cosecha 2012 – inicio de la brotación 2013)	1° de octubre 2012	30 septiembre 2013
Segundo ciclo (Fin de la cosecha 2013 – inicio de la brotación 2014)	1° de octubre 2013	30 agosto 2014

Se registró la acumulación de GDD, contabilizados en las fechas de cambio de fase fenológica en ambos ciclos y para las tres variedades. Asimismo se determinó el requerimiento térmico por etapa fenológica (RT), restando a la cantidad de GDD registrados en Antesis los GDD acumulados en la Brotación, y así sucesivamente para cada etapa fenológica, como se muestra en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Procedimiento utilizado para obtención del requerimiento térmico

Etapas	Fórmula
Etapa 1: Brotación - Antesis	$RT_1 = \text{GDD antesis} - \text{GDD brotación}$
Etapa 2: Antesis - Amarre	$RT_2 = \text{GDD amarre} - \text{GDD antesis}$
Etapa 3: Antesis – Madurez de consumo	$RT_3 = \text{GDD madurez de consumo} - \text{GDD antesis}$
Etapa 4: Brotación – Madurez de consumo	$RT_4 = \text{GDD madurez de consumo} - \text{GDD brotación}$

### 3.7 Crecimiento vegetativo y Crecimiento de la raíz

Una vez concluida la etapa reproductiva del primer ciclo, a partir de noviembre de 2013, se realizaron observaciones del desarrollo de la plantas, con el fin de determinar el comportamiento de estas durante la etapa de letargo previa al nuevo periodo reproductivo y de detectar el inicio de crecimiento de nuevos brotes vegetativos.

A partir de febrero (2014) se realizó la observación del sistema radical de las plantas de pitahaya para identificar la fecha de inicio de crecimiento de éstas. Debido a que las raíces de esta especie se caracterizan por ser poco profundas, las raíces se encontraron distribuidas cerca de la base del tallo de la planta y en un estrato de 0-20 cm de profundidad; se consideraron tres plantas por variedad para identificar si había crecimiento; los muestreos se

realizaron mensualmente. Se registró la presencia de raíces blancas, lo cual corresponde a los nuevos flujos de crecimiento radical.

### 3.8 Monitoreo de la humedad del suelo

Previo al inicio del segundo periodo de producción, se inició el monitoreo del contenido de humedad del suelo. Se realizaron muestreos de suelo con la ayuda de una barrena, a una distancia aproximada de 10 cm de la base del tallo y a una profundidad de 20 cm. El contenido de humedad se determinó mediante el método gravimétrico, para ello la muestra obtenida en campo se pesó en una balanza analítica, después se secó en una estufa por 24 horas. El contenido de humedad se obtuvo mediante la siguiente fórmula (Aguilera y Martínez, 1996):

$$Ps = \frac{(Psh - Pss)}{Pss} \times 100$$

Donde:

Ps = Porcentaje de humedad    Psh = peso del suelo húmedo    Pss =Peso suelo seco

Para comparar los resultados de porcentaje de humedad a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), se determinó el nivel de CC mediante el método de la pasta de saturación. Se tomaron 100 g de suelo, previamente secado en la estufa por 24 horas y tamizado, a esta muestra se le agregó agua hasta formar una pasta húmeda, aceptando una condición de brillo de la pasta como punto final de saturación de humedad. Se registró el volumen de agua en mililitros utilizado para formar la pasta. Posteriormente, la pasta humedecida se secó en una estufa a 105°C por 24 horas y se determinó el porcentaje de humedad mediante la ecuación anterior. El valor obtenido corresponde al contenido de humedad a saturación y, este valor, corresponde al doble de la capacidad de campo, mientras que 0.5 del valor de CC equivale a PMP.

### 3.9 Calidad de fruto

Las variables consideradas para determinar las características de calidad de fruto en las tres variedades de pitahaya fueron el contenido de sólidos solubles totales (SST) y el porcentaje de acidez titulable. (Figura 6). De forma meramente visual se presenta el color de fruto ideal para la fase de madurez de consumo, en cada variedad, índice de cosecha utilizado a nivel de campo. Para las variables SST y acidez titulable se consideraron cinco frutos de cada una de las tres variedades de pitahaya

#### 3.9.1 Sólidos Solubles Totales (SST)

Los SST se midieron de acuerdo con el método de la AOAC (1990), utilizando un refractómetro digital “ATAGO PR-100” con escala de 0 a 32%, depositando una gota del jugo de los frutos de pitahaya, tomados de ambas caras de los frutos (Figura 6a). Los datos se expresan como porcentaje de SST.

#### 3.9.2 Acidez titulable

Esta variable se determinó siguiendo la metodología propuesta por la AOAC (1990), para lo cual se tomaron 10 g de pulpa; ésta se homogenizó con 50 mL de agua destilada, posteriormente, se tomó una alícuota de 5 mL y se tituló con NaOH (0.1N), con indicador fenolftaleína (Figura 6b). El ácido málico es el más característico de las plantas MAC, a las cuales pertenece la pitahaya, por lo cual, los resultados de acidez se expresan en % de ácido málico.

$$\% \text{ de ácido málico} = \frac{\text{Vol} * N * \text{Meq} * \text{Vol total} * 100}{\text{Alícuota} * P}$$

Donde:

Vol= Volumen de NaOH gastado en la titulación.

Vol total= Volumen total de la muestra.

N= Normalidad de NaOH.

Meq= Miliequivalentes del ácido málico (0.067).

Alícuota= alícuota de la muestra.

P= Peso de la muestra en gramos.



**Figura 6.** Evaluaciones de calidad de fruto: a) registro de SST mediante un refractómetro digital; b) titulación con NaOH, para obtener el porcentaje de acidez.

### 3.10 Análisis de datos

Para el análisis de los resultados se utilizó el Paquete estadístico SAS 9.3 (Statistical Analysis System) para Windows. Se realizó un análisis de varianza para determinar significancia entre variedades para las siguientes variables: Fecha en que se registraron las fases fenológicas, duración de las etapas fenológicas en días, GDD registrados en cada fase, requerimiento térmico (RT) por etapa fenológica, así como para determinar si había diferencia significativa en el requerimiento térmico total (de brotación a antesis), por variedad, entre los dos ciclos evaluados; de igual forma se realizó un análisis de varianza para las variables de calidad de fruto. Las variables que resultaron significativas se sometieron a una prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ). Cabe mencionar que para este análisis, los datos estuvieron desbalanceados. Los resultados del análisis de varianza de todas las variables evaluadas se presentan en el Cuadro A-2 del Apéndice.

Para el análisis de crecimiento de fruto se consideraron los datos de longitud y diámetro de fruto, desde amarre hasta madurez de fruto, correspondientes a los dos ciclos de evaluación y considerando a su vez dos flujos de brotación por ciclo. Estas variables se analizaron mediante modelos de regresión lineal, para relacionar el crecimiento de fruto con la acumulación de GDD. Los modelos evaluados se muestran en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Modelos evaluados para el crecimiento de fruto de tres variedades de pitahaya

Variable respuesta	Modelo 1	Modelo 2
Diámetro	<b><math>LOGD = f(LGDD)</math></b>	<b><math>LOGD = f(GDD)</math></b>
Longitud	<b><math>LOGL = f(LGDD)</math></b>	<b><math>LOGL = f(GDD)</math></b>

Donde:

LOGD= Logaritmo del diámetro de fruto.

LOGL= Logaritmo de la longitud de fruto.

LGDD= Logaritmo del valor de GDD registrado en cada muestreo.

GDD= Valor de GDD registrado en cada muestreo.

En el modelo 1 se utilizó el logaritmo de las variables respuesta y el logaritmo de GDD, con el fin de reducir la escala de los valores de GDD y poder compararlos con los datos de diámetro y longitud de fruto. En el modelo 2 se requirió solamente el logaritmo de las variables respuesta y los valores de GDD reales.

Los modelos lineales fueron ajustados mediante el procedimiento GLIMMIX en el paquete estadístico SAS 9.3 (Littell, *et al.*, 2006). El ajuste de cada modelo se evaluó mediante el valor AIC (criterio de información de Akaike), siendo el valor más pequeño el que indica mejor ajuste para cada modelo comparado.

De forma adicional se determinó, también mediante el procedimiento GLIMMIX en SAS, si había diferencia entre variedades en el último valor de diámetro y longitud de fruto, que corresponde al máximo valor de LGDD en el modelo, esto en ambos ciclos de evaluación. Finalmente se compararon las pendientes de las rectas de regresión para determinar posibles diferencias entre variedades, estas pendientes indican la velocidad de crecimiento de los frutos de pitahaya con relación a la acumulación de GDD.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

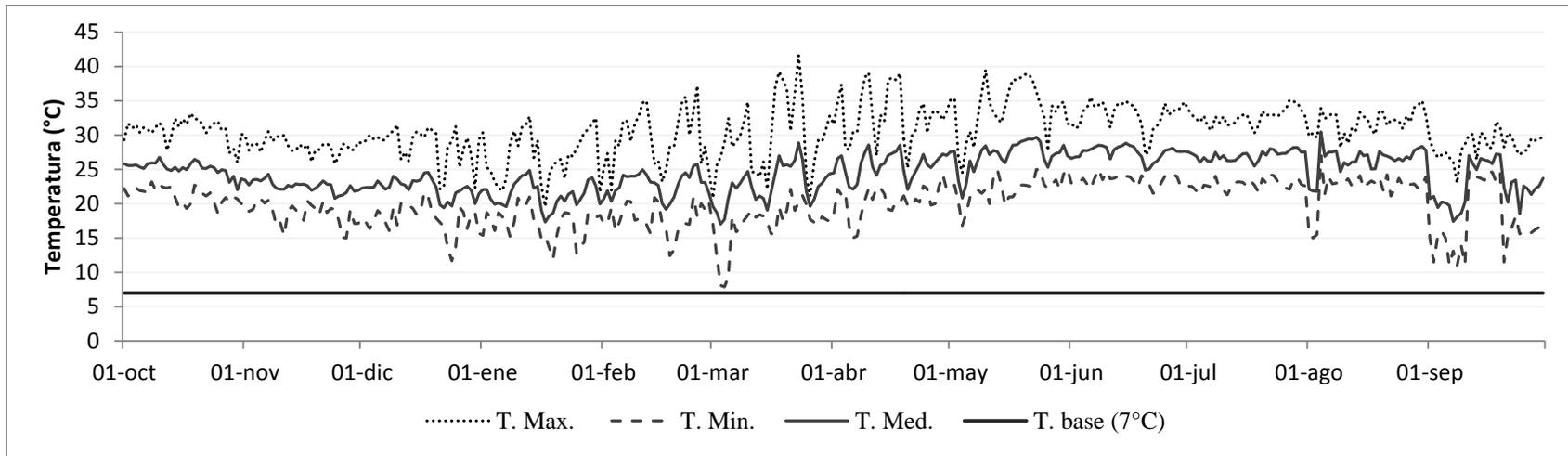
### 4.1 Análisis de datos meteorológicos

El Municipio de Medellín, Veracruz, está clasificado como un lugar con clima Aw1 (cálido tropical subhúmedo con lluvias en verano) (Soto, 2001); presentó durante el primer ciclo de evaluación (2012-2013), valores máximos de temperatura de 41.6 °C (23 de marzo) y una temperatura mínima de 7.9 °C (4 marzo de 2013), no obstante, la oscilación térmica a lo largo del año es mínima en esta región (5 °C en promedio), condición que es característica de los climas tropicales. Para el segundo ciclo (2013-2014) la temperatura máxima se registró el 28 de abril (42.3 °C) y la temperatura más baja, el 23 de enero del 2014 (7.9 °C).

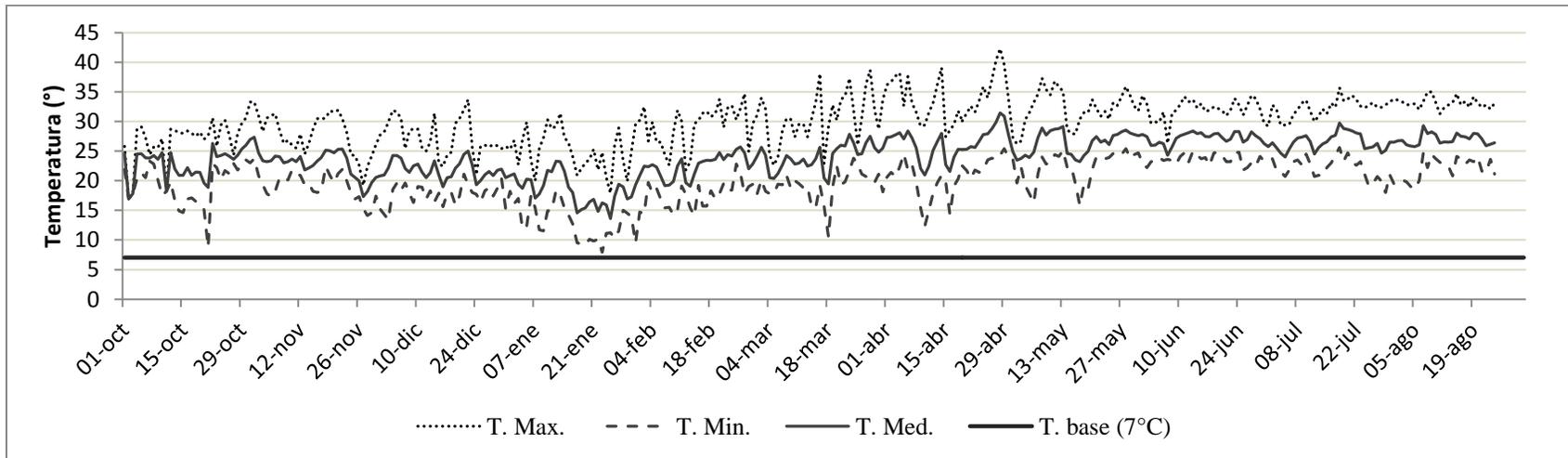
Como se observa en las Figuras 7 y 8, las temperaturas diarias se mantienen por encima de la temperatura base de la pitahaya (7 °C) a lo largo de ambos ciclos de evaluación; sin embargo, al ser valores diarios se requirió hacer un ajuste mediante el análisis de Fourier para “suavizar” los datos y observar una tendencia de los valores en los dos ciclos de evaluación. Mediante dicho ajuste con las temperaturas medias, nocturnas, máximas y mínimas, todos ellos valores mensuales, se observó de forma clara una acumulación térmica por encima de la temperatura base de la pitahaya en los dos ciclos (Figura 9).

Para el ciclo 2013, los valores máximos de temperatura se presentaron durante los meses de mayo a agosto, condición que se explica debido a que durante este periodo la insolación recibida en la latitud norte (Rodríguez, *et al.*, 2004), en la que se encuentra la región Central de Veracruz, es mayor debido a la mayor intensidad lumínica recibida en el hemisferio norte de finales de primavera y gran parte del verano. Durante el ciclo 2014, después de registrarse temperaturas mínimas alrededor de los 15 °C en el mes de enero, las temperaturas se incrementaron considerablemente alcanzando un máximo en abril y después un nuevo repunte para el mes de julio.

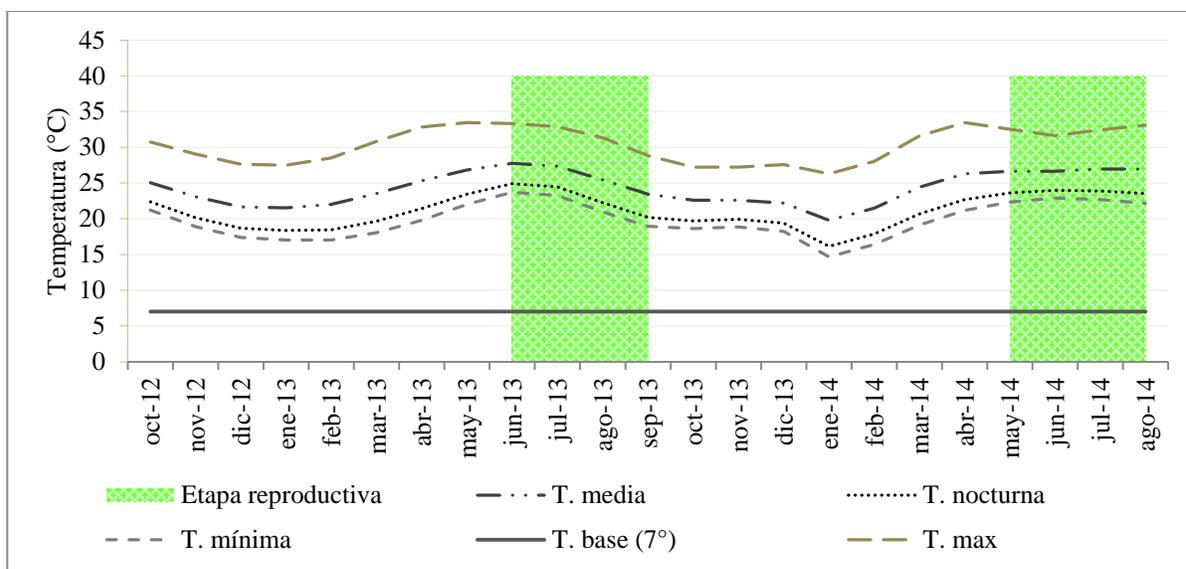
En la Figura 9, se muestran los datos ajustados con relación al periodo productivo de los dos ciclos. La parte sombreada representa la etapa reproductiva de la pitahaya, este periodo sobreviene justo después de que se registran los máximos valores de temperatura en la zona de estudio.



**Figura 7.** Registro de las temperaturas máxima, mínima y media durante el primer ciclo con relación a la temperatura base de la pitahaya. Medellín, Veracruz. 2012-2013.



**Figura 8.** Registro de las temperaturas máxima, mínima y media durante el segundo ciclo con relación a la temperatura base de la pitahaya. Medellín, Veracruz. 2013-2014.



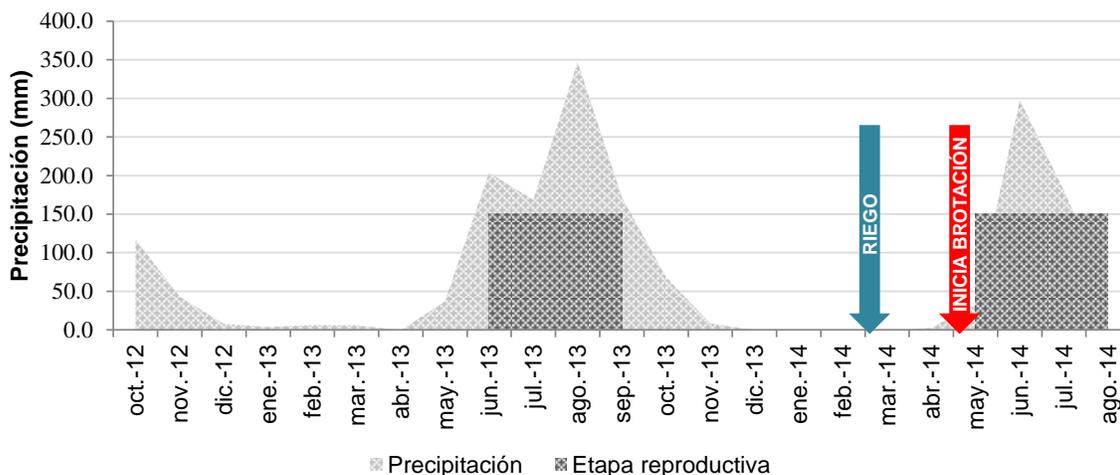
**Figura 9.** Valores de temperatura ajustados mediante el Análisis de Fourier en relación con la temperatura base y el periodo reproductivo de la pitahaya. Medellín, Veracruz. 2012-2014.

Considerando que la temperatura umbral máxima de la pitahaya es de 40 °C, y al observar los datos meteorológicos diarios, se encontraron valores de temperatura máxima por encima de este valor solamente en un día por cada ciclo de evaluación (Cuadro A-1 del Apéndice).

Al observar los valores diarios de temperatura durante el verano, que corresponde al periodo reproductivo de la pitahaya, pudo constatar que las temperaturas máximas no alcanzaron el rango de 34-38 °C, temperaturas que afectan la brotación de yemas florales en la pitahaya, de acuerdo a lo reportado por Nerd *et al.* (2002).

Mediante el ajuste de datos mensuales en los dos ciclos evaluados, se observa que los valores de temperatura máxima no exceden los 35 °C, valor por encima del cual las plantas de pitahaya pueden sufrir quemaduras, según lo reportado por Nobel y de la Barrera (2002a). Durante el primer ciclo de estudio las temperaturas nocturnas oscilan entre los 17 y 25 °C en la zona de estudio, lo cual representa una ventaja para el cultivo, ya que por debajo de 15 °C esta especie reduce su actividad fisiológica, de acuerdo a los resultados encontrados por Bárcenas (2002). Sin embargo, para el segundo ciclo, en enero de 2014 se registraron valores de temperatura nocturna de hasta 10 °C, siendo esta una condición desfavorable al cultivo debido a la reducción de la actividad fisiológica.

Al observar los registros de precipitación ocurridos en la zona de estudio a lo largo de los dos ciclos, se aprecia que el periodo reproductivo de la pitahaya depende ampliamente del inicio de la etapa de lluvias, ya que en ambos ciclos la brotación floral ocurre después de que se registran las primeras lluvias (Figura 10). Cabe destacar que en el segundo ciclo adicionalmente se aplicó un riego en el mes de febrero, previo al periodo de lluvias, dadas las condiciones de estrés en las plantas, por lo cual ésta situación propició que el periodo reproductivo se presentara con un mes de adelanto, en relación al primer ciclo.



**Figura 10.** Precipitación registrada durante los dos ciclos de evaluación y su relación con el periodo reproductivo de la pitahaya. Medellín, Veracruz. 2012-2014.

Durante el primer ciclo, la precipitación acumulada fue de 1117 mm, y los valores de humedad relativa oscilaron entre 56 y 100% a lo largo del año. Cabe mencionar, que en el segundo ciclo, los datos climáticos del mes de septiembre de 2014 no se incluyeron, debido a la culminación de este estudio en el mes de agosto. No obstante la precipitación registrada fue mucho menor que en el primer ciclo, ya que con sólo de 654 mm, la productividad de las plantas se vio severamente afectada.

Para la brotación del primer flujo del ciclo 2013, se registraron 223 mm de precipitación, mientras que para la primera brotación del ciclo 2014 se contabilizaron solamente 84 mm. Si bien en el ciclo 2014 el periodo reproductivo fue más anticipado que en el 2013, lo cual se atribuye a la aplicación de un riego, para el 2014, la producción de frutos

fue considerablemente menor que en el primer ciclo, efecto atribuible, entre otros factores, a la baja humedad en el suelo, como se verá más adelante.

#### 4.2 Fenología reproductiva de la pitahaya

El inicio del ciclo reproductivo de la pitahaya se manifiesta mediante el hinchamiento de ciertos puntos a lo largo de las areolas de los tallos, donde se localizan las espinas, a partir de los cuales se desarrollan las yemas reproductivas (Castillo y Ortiz, 1994). Después de la emergencia, los brotes se desarrollan rápidamente hasta llegar a la antesis, donde las flores pierden el perianto; a partir de esta fase transcurren de forma aproximada cinco o seis días para que se presente el amarre de fruto y comience el desarrollo del fruto. En Figura 11 se describen de forma detallada las etapas fenológicas observadas en la pitahaya durante el periodo reproductivo.

			
<b>Fase I Brotación</b>	<b>Fase II Floración</b>	<b>Fase III Amarre de fruto</b>	<b>Fase IV Madurez</b>
Se observa el levantamiento de una espina, donde una yema que ha sido diferenciada, emerge, iniciando el crecimiento de la yema floral.	Una vez que el perianto alcanza su máxima longitud (25-30 cm), la flor abre durante las primeras horas del día y permanece abierta hasta las 7 am, aproximadamente.	El perianto cae y, una vez, fecundado el óvulo, comienza el desarrollo del fruto.	Los frutos adquieren el color característico de la variedad. El cambio de color y firmeza de fruto son los indicadores para su cosecha.

**Figura 11.** Descripción de las fases fenológicas reproductivas de la pitahaya observadas en Medellín, Ver. 2013-2014.

En el primer ciclo (2013), se registraron cuatro períodos de brotación bien definidos en las tres variedades evaluadas, mientras que en el segundo ciclo (2014), sólo se registraron tres flujos. Esto resulta un periodo más que los reportados por Castillo y Ortiz (1994) en Oaxaca;

no obstante, en regiones como Tepoztlán, Morelos, se han llegado a registrar hasta 11 flujos de brotación floral durante un ciclo (Martínez, 2011). Para las condiciones de Tepoztlán, la brotación inicia en febrero, continúa en marzo y se prolonga hasta abril, por lo cual este periodo ocurre con mayor anticipación que en Veracruz.

El periodo reproductivo del primer ciclo, comenzó el 29 de mayo con la brotación del primer flujo de yemas florales, sin embargo, en las tres variedades se registró la caída de las yemas emergidas en este flujo. En el Cuadro 4, se muestran las fechas cuando se registraron los eventos fenológicos para cada variedad durante el primer ciclo. En el segundo flujo no se encontraron diferencias entre variedades para las fechas de brotación, antesis y amarre, en tanto que, en el tercer flujo, las tres variedades brotaron también en la misma fecha, y de igual forma no se encontraron diferencias significativas en las fechas de floración y amarre. En ambos flujos se encontraron diferencias estadísticas solamente para la fecha de madurez, siendo ‘Juana’ la primera variedad en llegar a esta fase.

Para el cuarto flujo del 2013, se registraron de forma general las fechas en que se registraron las fases en cada variedad. ‘Ana’ y ‘Carlos’ brotaron el 19 de agosto y la variedad ‘Juana’ un día después, las tres variedades llegaron a antesis el 4 de septiembre y el amarre se registró el 9 de septiembre. Finalmente los frutos alcanzaron la madurez el 30 de septiembre.

**Cuadro 4.** Fechas de registro de las fases fenológicas de tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver., ciclo 2013.

Variedad	Flujo 2				Flujo 3			
	Brotación	Antesis	Amarre	Madurez	Brotación <sup>2</sup>	Antesis	Amarre	Madurez
Ana	23-junio a <sup>1</sup>	11-julio a	16-julio a	07-agosto a	22-julio	08-agosto a	13-agosto a	04-septiembre b
Juana	22-junio a	11-julio a	16-julio a	06-agosto b	22-julio	08-agosto a	13-agosto a	02-septiembre c
Carlos	23-junio a	11-julio a	17-julio a	08-agosto a	22-julio	08-agosto a	14-agosto a	06-septiembre a

<sup>1</sup>Fechas con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

<sup>2</sup>No se realizó la comparación de medias en la fase de brotación del tercer flujo, debido a que todas las yemas florales brotaron la misma fecha.

Para el segundo ciclo de evaluación (2014), las tres variedades brotaron el 4 de mayo, y nuevamente las yemas emergidas en este primer flujo abortaron un día después de

registrarse precipitación. Con un solo fruto producido en cada flujo, la variedad ‘Ana’ no pudo compararse con la demás variedades. En el segundo flujo, la comparación de medias arrojó diferencia significativa entre ‘Juana’ y ‘Carlos’ solamente para la fecha de cosecha, y, al igual que en el ciclo 2013, la variedad ‘Juana’ fue la primera en alcanzar la madurez fisiológica (Cuadro 5). Con relación al tercer flujo, no fue posible determinar diferencias entre variedades, debido a que la producción de frutos fue mínima y no se tuvieron repeticiones para realizar la comparación de medias. No obstante, se pudo constatar que las fechas en que se registraron las fases, no variaron ampliamente entre variedades.

**Cuadro 5.** Fechas de registro de las fases fenológicas de tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver., ciclo 2014.

Variedad	Flujo 2				Flujo 3 <sup>2</sup>			
	Brotación <sup>3</sup>	Antesis	Amarre	Madurez	Brotación	Antesis	Amarre	Madurez
Ana	07-junio	25-junio	30-junio	21-julio	07-julio	23-julio	28-julio	19-agosto
Juana	07-junio	23-junio a <sup>1</sup>	28-junio a	20-julio b	07-julio	22-julio	27-julio	17-agosto
Carlos	07-junio	25-junio a	30-junio a	22-julio a	07-julio	23-julio	28-julio	18-agosto

<sup>1</sup>Fechas con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

<sup>2</sup>No se realizó la comparación de medias en el tercer flujo, debido a la falta de repeticiones.

<sup>3</sup>No se realizó la comparación de medias en la fase de brotación del segundo flujo, debido a que todas las yemas florales brotaron la misma fecha.

Cabe destacar que en los dos ciclos de evaluación, se registró la caída de botones correspondiente al primer flujo de brotación en las tres variedades estudiadas en Veracruz, justamente un día después de presentarse una precipitación en la zona, por lo cual se relaciona la presencia de humedad con el aborto de botones florales. Castillo y Ortiz (1994) encontraron que, en Oaxaca, el aborto se presentó en todos los flujos de brotación en diferentes proporciones y, el tiempo total desde la antesis hasta el inicio de la dehiscencia de los frutos, es de 39 a 52 días, por lo cual la duración de las etapas es más prolongada para esa región.

Debido al riego efectuado en el mes de febrero de 2014, el periodo reproductivo en el segundo ciclo comenzó el 4 de mayo de 2014, un adelanto de 25 días en relación al primer ciclo, respuesta que se explica por la cualidad de la pitahaya para responder de forma inmediata a la humedad del suelo, debido a su capacidad de incrementar la absorción neta de

CO<sub>2</sub> después de un periodo de estrés hídrico (Nobel y De la Barrera, 2002b). El comportamiento de *H. undatus* difiere de otras cactáceas como la pitaya (*Stenocereus griseus*), especie que no responde de forma directa a las precipitaciones del año; Nassar y Emaldi (2008) encontraron que, la productividad de *S. griseus*, se vio afectada en un ciclo donde la precipitación fue mayor a un ciclo anterior, por lo cual, las bajas precipitaciones de un ciclo, disminuyeron el potencial productivo del año siguiente en la pitaya. La capacidad de los cactus columnares de almacenar agua en los tejidos, como es el caso de *Isolatocereus domortieri*, hace que este tipo de cactáceas sean independientes a la incidencia de precipitaciones (Cruz, 2008), condición que no favorece a *H. undatus* por su constitución trepadora y de tallos más delgados (Gunaseena *et al.* 2007).

En el Cuadro 6 se presenta la duración en días de las etapas fenológicas. En el segundo flujo del primer ciclo (2013), se observó que el número de días transcurridos de brotación a antesis fue el mismo para las tres variedades. Los periodos de antesis a amarre y, de antesis a madurez, fueron más prolongados para la variedad ‘Carlos’ en este flujo, por lo cual esta variedad ocupó más días en completar el periodo que va de brotación a madurez. En el tercer flujo no se encontraron diferencias significativas entre variedades en las etapas de brotación-antesis y de antesis-amarre, mientras que en las etapas de antesis-madurez y el periodo completo (brotación-madurez), la variedad ‘Juana’ requirió menos días y, nuevamente, para la variedad ‘Carlos’, estas etapas fueron más prolongadas.

**Cuadro 6.** Duración en días de las etapas fenológicas de tres variedades de pitahaya, Medellín, Ver., ciclo 2013.

Variedad	Flujo 2				Flujo 3			
	Brotación a antesis	Antesis a amarre	Antesis a madurez	Brotación a madurez	Brotación a antesis	Antesis a amarre	Antesis a madurez	Brotación a madurez
Ana	19 a <sup>1</sup>	5 b	27 ab	46 ab	17 a	5 a	27 b	44 b
Juana	19 a	5 b	26 b	45 b	17 a	5 a	25 c	42 c
Carlos	19 a	6 a	28 a	47 a	17 a	5 a	28 a	46 a

<sup>1</sup>Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

La variación en cuanto a duración de las etapas de brotación a antesis y en el período completo, puede atribuirse al genotipo, dado que cada variedad responde de forma distinta a las condiciones climáticas (Hoyos *et al.*, 2012).

En el cultivo de pitaya (*Stenocereus griseus*), el tiempo transcurrido desde la aparición del primordio floral hasta la madurez de fruto es de 60 días, de los cuales ocupa de forma aproximada 22 días desde la brotación a la floración y 38 días de floración a madurez de fruto (Sánchez, 2006); por lo cual, es evidente, que en *S. griseus*, las etapas fenológicas son más prolongadas que en *H. undatus*, cuyo periodo reproductivo comprende de 41 a 46 días desde brotación a madurez de fruto.

Para el segundo ciclo (2014) segundo flujo, los resultados de la comparación de medias mostraron diferencias significativas para la etapa de brotación a antesis y para el periodo completo de brotación a madurez. Como se mencionó anteriormente, en el flujo 3 no fue posible realizar la comparación de medias para determinar diferencias entre variedades, no obstante, se puede apreciar que en la variedad ‘Juana’, el periodo de brotación a madurez fue también más corto. A nivel de flujos, al igual que en el ciclo 2013, todas las variedades registraron periodos más cortos en el tercer flujo (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Duración en días de las etapas fenológicas de tres variedades de pitahaya, Medellín, Ver., ciclo 2014.

Variedad	Flujo 2				Flujo 3 <sup>2</sup>			
	Brotación a antesis	Antesis a amarre	Antesis a madurez	Brotación a madurez	Brotación a antesis	Antesis a amarre	Antesis a madurez	Brotación a madurez
Ana <sup>3</sup>	18	5	27	45	16	5	27	43
Juana	17 b	5 a	26 a	43 b	15	5	26	41
Carlos	18 a	5 a	27 a	45 a	16	5	26	42

<sup>1</sup>Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

<sup>2</sup>No se realizó la comparación de medias debido a la falta de repeticiones.

<sup>3</sup>La variedad ‘Ana’ sólo produjo un fruto por lo cual no pudo realizarse la comparación de medias.

Castillo y Ortiz (1994), encontraron, en variedades de Oaxaca, que de la brotación de las yemas florales a la antesis, transcurrieron 10, 21 y 31 días, para el primer, segundo y tercer flujo, respectivamente, indicando una mayor aceleración en el crecimiento de los botones en los primeros flujos para las condiciones de Oaxaca.

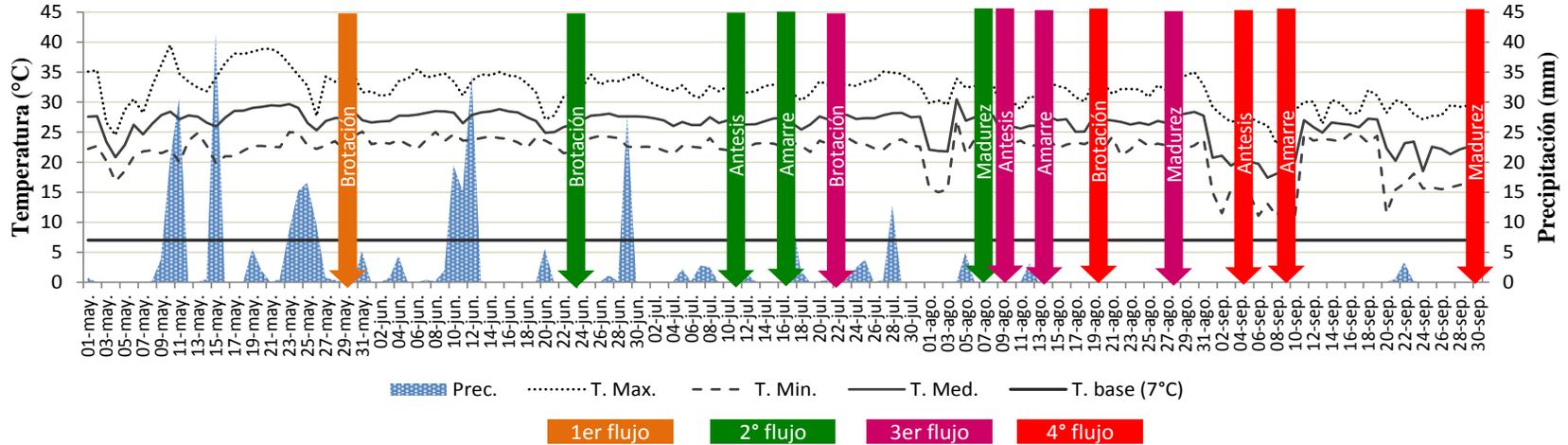
El número de días después de la apertura floral hasta la madurez, registrado para las variedades de Veracruz, coincide con lo reportado por Centurión *et al.*, (2008) en variedades de cáscara púrpura de Yucatán, cuyos frutos alcanzan la coloración máxima de la cáscara, a

los 31 días después de la antesis, reportando que el periodo más apropiado para la cosecha, es de los 25 a los 31 días después de la antesis, bajo las condiciones de Yucatán.

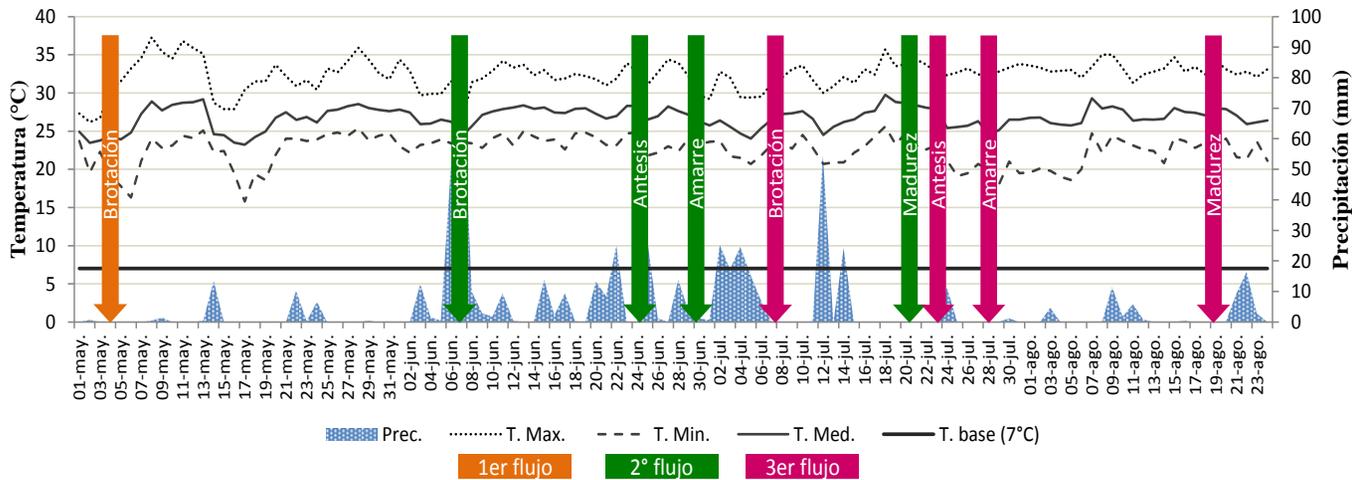
La duración de las etapas reproductivas en Veracruz, coincide también con los resultados de Cáliz, *et al.* (2005) en Tabasco, en donde se han registrado de 43 a 47 días desde la brotación floral a la cosecha, no obstante que en dicha región se registran 5 floraciones, entre fines de mayo y principios de junio.

Se considera que la etapa más apta para la cosecha de frutos en Veracruz, es entre los 26 - 28 días después de la apertura floral. Si bien, el resultado obtenido en este estudio está en concordancia con lo reportado por Centurión *et al.*, (2008), quienes encontraron que el periodo más apropiado para la cosecha de frutos de cáscara púrpura en Yucatán es de 25 - 31 días después de la antesis, para los fines de esta evaluación, se considera que, bajo las condiciones de Veracruz, la cosecha debe realizarse en un lapso más corto, abarcando, de forma aproximada, tres días.

En las Figuras 12 y 13, se presenta de forma gráfica el inicio de las fases fenológicas para el primer y segundo ciclo, con relación a los valores diarios de temperatura y precipitación. Se aprecia claramente la anticipación de la etapa reproductiva en el ciclo 2014 y, en ambos ciclos, los flujos se traslapan. Para el segundo ciclo, no se registró un cuarto flujo de brotación, que, podría asumirse, debido a la escasa precipitación registrada en los meses de julio y agosto de 2014.



**Figura 12.** Periodo reproductivo de la pitahaya en relación con los elementos del clima registrados durante el primer ciclo (2013) en Medellín, Veracruz.



**Figura 13.** Periodo reproductivo de la pitahaya en relación con los elementos del clima registrados durante el segundo ciclo (2014) en Medellín, Veracruz.

### 4.3 Cálculo de acumulación de calor – Grados día desarrollo (GDD)

En el primer ciclo (2013), se registraron en la zona de estudio valores de temperatura diaria superiores a la temperatura base del cultivo de pitahaya, esta condición permitió que diariamente se registrara una acumulación de grados día desarrollo para las tres variedades evaluadas. El cálculo de GDD se efectuó por cada ciclo, desde el término de la etapa reproductiva anterior al periodo evaluado, es decir, a partir del mes de octubre de 2012.

Para el inicio del primer flujo, ciclo reproductivo (2013), se registraron 4228 GDD requeridos para la brotación. En el segundo flujo no se encontró diferencia significativa para la acumulación de GDD en las fases de brotación, antesis y amarre; sin embargo, para llegar a la fase de madurez, el análisis estadístico arrojó diferencia significativa, ya que la cantidad de GDD registrados fue diferente entre variedades (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** GDD acumulados para el cumplimiento de las fases fenológicas de tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver., ciclo 2013.

Variedad	Flujo 2				Flujo 3			
	Brotación	Antesis	Amarre	Madurez	Brotación <sup>2</sup>	Antesis	Amarre	Madurez
Ana	4747 a <sup>1</sup>	5136 a	5239 a	5689 a	5358	5706 a	5803 a	6229 b
Juana	4737 a	5131 a	5234 a	5659 b	5358	5707 a	5804 a	6204 c
Carlos	4748 a	5140 a	5243 a	5705 a	5358	5710 a	5806 a	6253 a

<sup>1</sup> Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

<sup>2</sup> No se realizó la comparación de medias debido a que las tres variedades tuvieron la misma acumulación de GDD.

Respecto al tercer flujo, las tres variedades brotaron con la misma cantidad de GDD, y al igual que en el flujo dos, solamente se encontró diferencia estadística en la fase de madurez, registrándose el menor requerimiento de GDD para la variedad ‘Juana’.

Al inicio del segundo periodo reproductivo (2014), para las tres variedades se registraron 3544 GDD al momento de la brotación del primer flujo. En este ciclo, la acumulación de GDD solo pudo compararse entre las variedades Juana y Carlos en el segundo flujo. Se observa en el Cuadro 8, que para la brotación del segundo flujo se acumularon 4240 GDD para las tres variedades. La comparación de medias arrojó diferencias significativas en

las fases de antesis, amare y madurez, siendo mayor la acumulación de GDD en la variedad ‘Carlos’.

En el tercer flujo (Cuadro 9), nuevamente las tres variedades brotaron con la misma acumulación de GDD (4860). En ambos flujos, la variedad ‘Juana’ requirió una menor acumulación de GDD para completar las fases de antesis, amarre y madurez.

**Cuadro 9.** GDD acumulados para el cumplimiento de las fases fenológicas de tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver., ciclo 2014.

Variedad	Flujo 2				Flujo 3 <sup>4</sup>			
	Brotación <sup>2</sup>	Antesis	Amarre	Madurez	Brotación	Antesis	Amarre	Madurez
Ana <sup>3</sup>	4240	4621	4724	5173	4860	5194	5291	5741
Juana	4240	4595 b <sup>1</sup>	4699 b	5130 b	4860	5173	5272	5698
Carlos	4240	4617 a	4721 a	5166 a	4860	5194	5291	5719

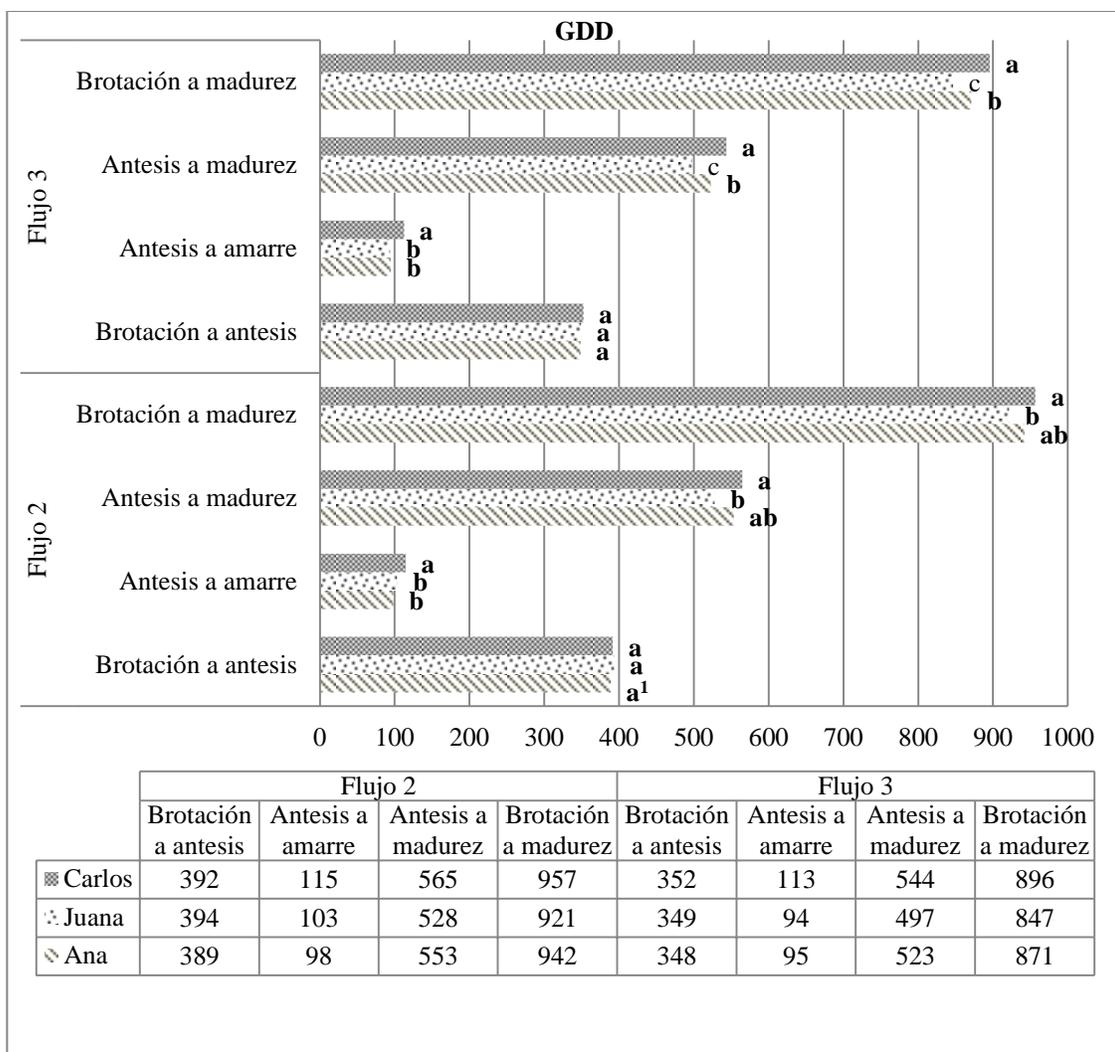
<sup>1</sup> Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

<sup>2</sup> No se realizó la comparación de medias debido a que las tres variedades brotaron con la misma acumulación de GDD.

<sup>3</sup> La variedad ‘Ana’ sólo produjo un fruto por lo cual no pudo realizarse la comparación de medias.

<sup>4</sup> No se realizó la comparación de medias debido a la falta de repeticiones.

En la Figura 14 se muestran los resultados del requerimiento térmico registrado en cada etapa fenológica para el ciclo 2013. Se observa que en los dos flujos de este ciclo no se encontraron diferencias significativas entre variedades en las etapas de brotación a antesis; el requerimiento térmico promedio en esta etapa fue de 391 GDD en el flujo 2 y de 350 GDD en el flujo 3. En ambos flujos el RT de antesis a amarre y de antesis a madurez fue mayor para la variedad ‘Carlos’. ‘Juana’ registró el menor RT en ambos flujos, en todas las etapas, excepto de brotación a antesis (Figura 14). En el primer ciclo (2013), para la etapa de brotación a antesis, se requirieron en promedio 371 GDD, mientras que el RT de brotación a madurez osciló entre 921 a 957 en el flujo 2 y de 847 a 896 GDD en el flujo 3.

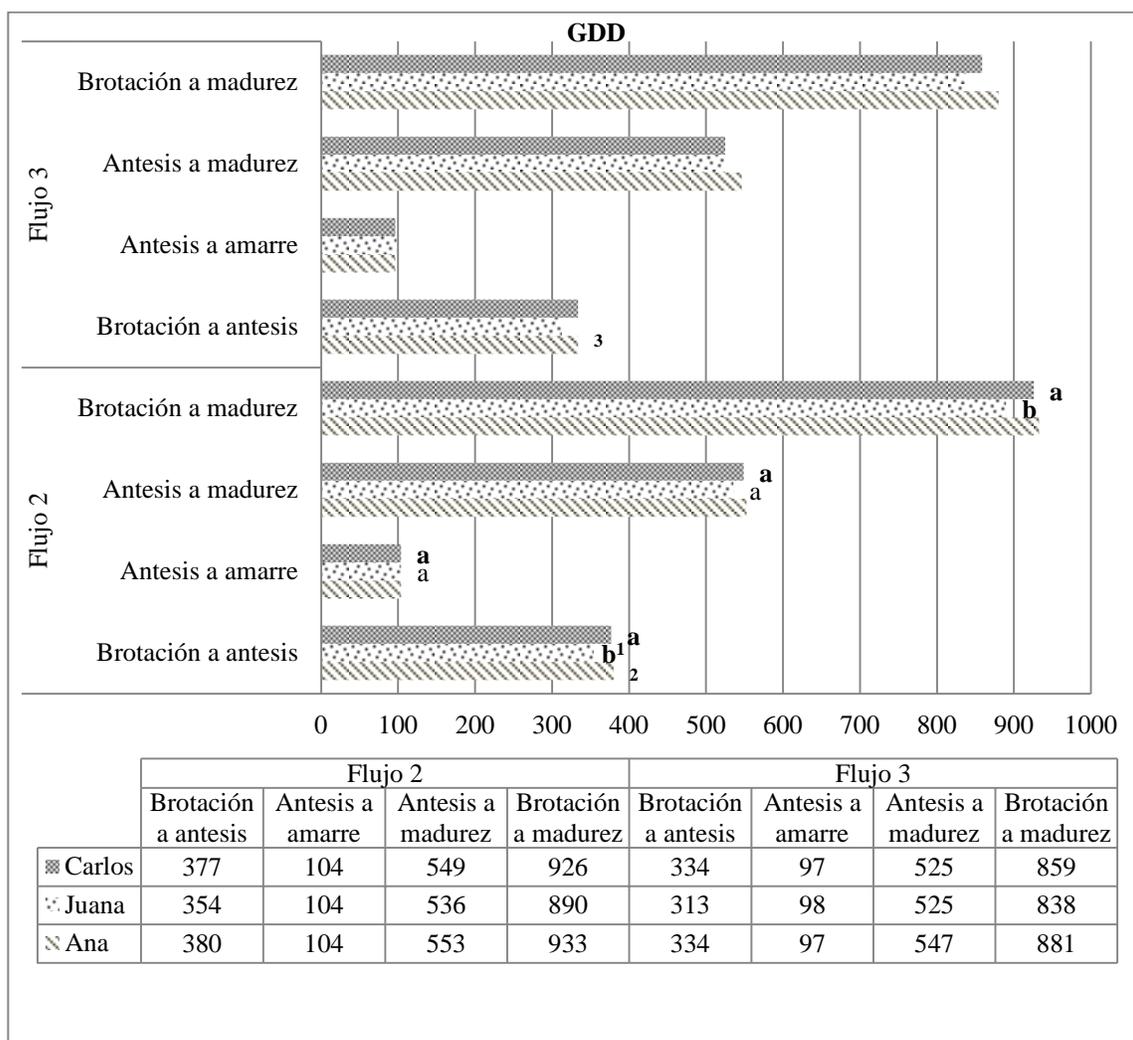


<sup>1</sup>Medias con la misma letra en cada etapa son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ )

**Figura 14.** Requerimiento térmico (GDD) registrados en cada etapa fenológica de tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver., ciclo 2013.

En el segundo ciclo (2014), se comparó el requerimiento térmico solamente entre las variedades ‘Juana’ y ‘Carlos’ en el segundo flujo. Como resultados, se encontraron diferencias significativas en el requerimiento térmico para las etapas de brotación a antesis y de brotación a madurez, observándose que para la variedad ‘Carlos’ el requerimiento térmico fue mayor. En el tercer flujo el RT fue también menor para la variedad ‘Juana’ en las cuatro etapas (Figura 15). En este ciclo el requerimiento térmico de brotación a madurez fisiológica varió entre 890 a 933 GDD en el flujo 2 y entre 838 a 881 GDD en el tercer flujo.

El requerimiento térmico puede variar entre variedades de una misma especie, debido a que cada variedad responde de manera diferente a las condiciones ambientales (Qadir, *et al.*, 2006). En especies hortícolas como el pepino, el RT desde la siembra hasta la cosecha puede variar desde 660 a 726 GDD para dos diferentes variedades (Hoyos *et al.*, 2012), lo cual indica que el requerimiento térmico efectivamente puede variar entre cultivares, como fue el caso del RT obtenido en pitahaya, donde la variedad ‘Juana’ resultó con el menor RT en los dos ciclos de evaluación.



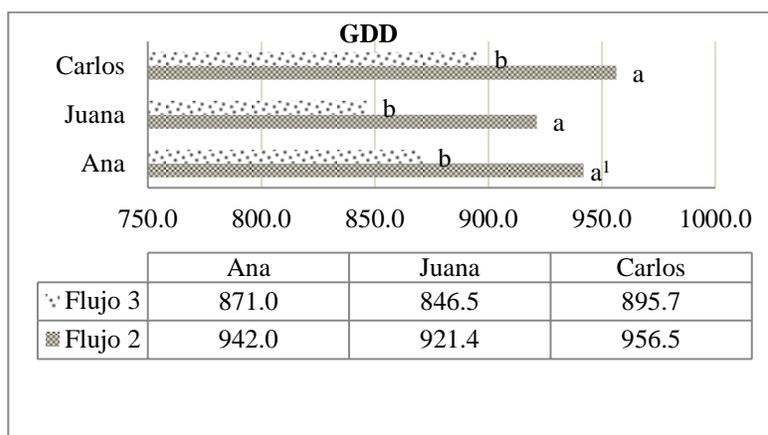
<sup>1</sup>Medias con la misma letra en cada etapa son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ )

<sup>2</sup> La variedad ‘Ana’ no se comparó en este ciclo con las demás variedades debido a la baja producción de frutos

<sup>3</sup>En el tercer flujo no se realizó la comparación de medias debido a la falta de repeticiones

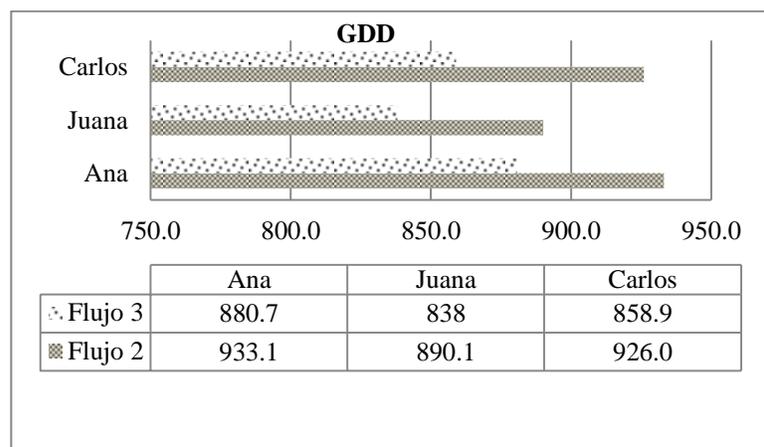
**Figura 15.** Requerimiento térmico (GDD) registrados en cada etapa fenológica de tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver., ciclo 2014.

Al observar que en los dos ciclos de producción el RT total (brotación-madurez) fue menor en el tercer flujo, se decidió realizar una comparación de medias entre el 2° y el 3er flujo en cada ciclo para determinar diferencias estadísticas entre flujos. Como resultados de esta comparación, en el primer ciclo (2013) las tres variedades mostraron un mayor RT en el segundo flujo para ambos ciclos (Figura 16), mientras que en el segundo ciclo (2014), aun sin realizar una comparación de medias, se observa que las tres variedades resultaron con un menor RT en el tercer flujo.



<sup>1</sup>Medias con la misma letra en cada variedad son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

**Figura 16.** Comparación del requerimiento térmico total (brotación – madurez) entre flujos del primer ciclo (2013).



**Figura 17.** Comparación del requerimiento térmico total (brotación – madurez) entre flujos del segundo ciclo (2014).

Al comparar en este estudio el requerimiento térmico total (brotación-madurez) por variedad entre los dos ciclos, el análisis arrojó diferencia significativa solamente para la variedad ‘Carlos’, por lo que el RT para la pitahaya fue constante en los dos ciclos de evaluación (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Requerimiento térmico total (GDD) de tres variedades de pitahaya en los dos ciclos de estudio. Medellín, Ver. 2013-2014.

Variedad	‘Ana’	‘Juana’	‘Carlos’
Ciclo 1 (2013)	914 a <sup>1</sup>	887 a	922 a
Ciclo 2 (2014)	907 a	875 a	890 b
Media general	911	881	906

<sup>1</sup>Medias con la misma letra por columna no representan diferencia significativa (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

Son pocos los frutales en los cuales se ha estudiado la acumulación térmica para las etapas fenológicas. Ruiz *et al.* (1992) determinaron el RT en el cultivo de guayaba (*Psidium guajava*), encontrando que de la etapa “aparición del botón floral - inicio de la floración” el requerimiento térmico promedio fue de 497 GDD a una temperatura base de 8 °C; mientras que de la etapa “inicio de la floración - inicio de la cosecha”, el RT encontrado fue de 2075 GDD a una temperatura base de 8.4 °C. Estas etapas también fueron consideradas para el estudio de la pitahaya, sin embargo, el RT fue menor para esta especie, debido, principalmente, a que la duración en días de las etapas es mucho menor en *H. undatus* en comparación con *P. guajava*.

Con la información obtenida sobre el requerimiento térmico de cada etapa fenológica, es posible predecir la ocurrencia de las etapas de la pitahaya, considerando una temperatura base de 7 °C y la temperatura media durante el desarrollo de los botones florales.

#### **4.4 Ajuste de un modelo para el diámetro y la longitud de fruto de pitahaya, en función de la acumulación térmica (GDD)**

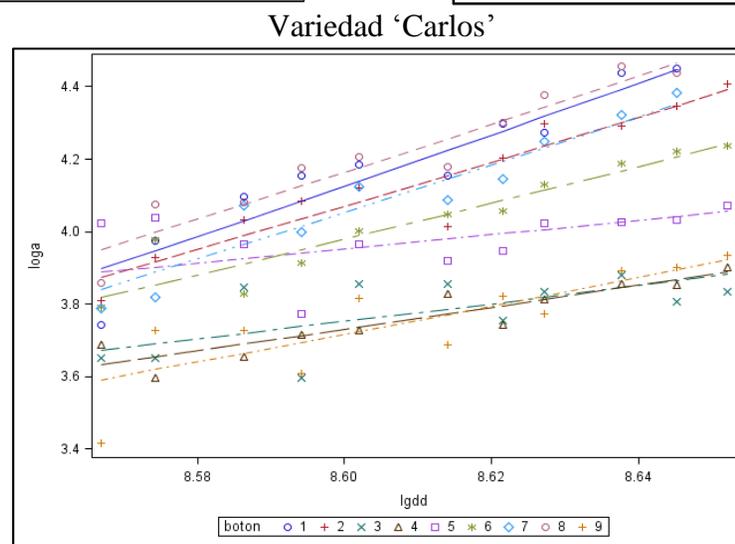
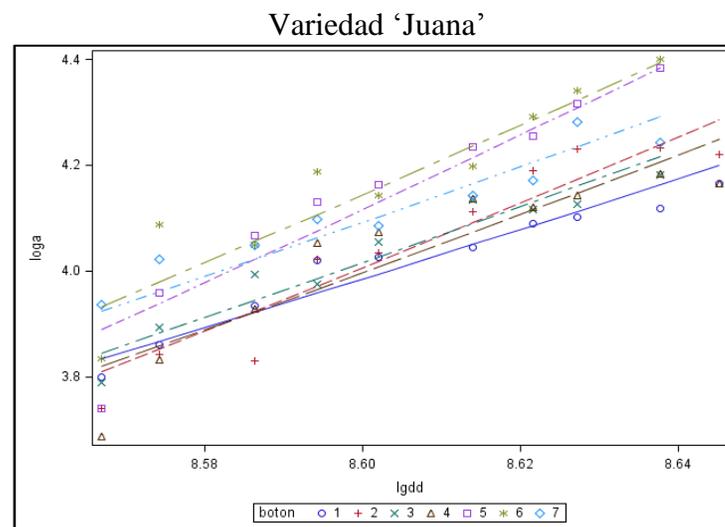
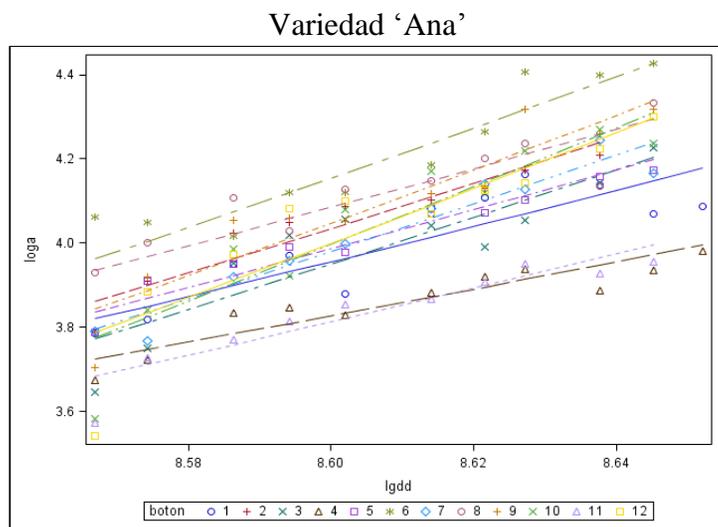
Para los dos ciclos de producción, el mejor ajuste se encontró con el modelo 1, es decir, el modelo que considera el logaritmo de diámetro o el logaritmo de la longitud de fruto con relación al logaritmo de GDD. En los Cuadros A-3 y A-4 del Apéndice, se muestran los

valores AIC (criterio de información de Akaike), indicando el nivel de ajuste para cada modelo.

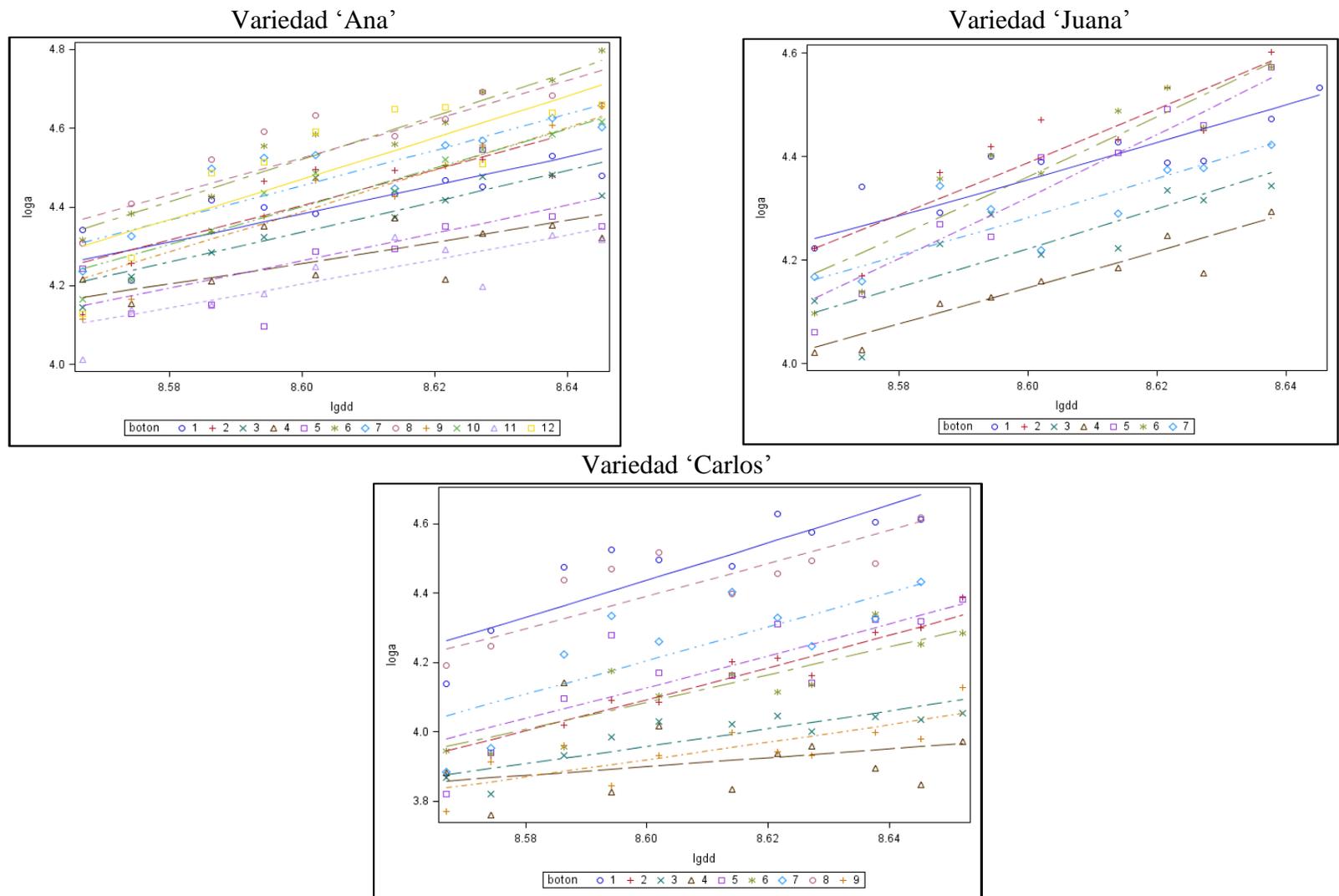
El modelo permitió ajustar rectas de regresión para el crecimiento de cada uno de los frutos de las tres variedades de pitahaya, desde amarre de fruto a madurez fisiológica. En las Figuras 18 y 19 se muestran las rectas de regresión para las variables diámetro y longitud de fruto, correspondientes al 2° flujo del primer ciclo (2013), se aprecia que las líneas se ajustan correctamente a los datos observados, y que los últimos valores del logaritmo de diámetro de fruto (LOGD) y del logaritmo de longitud de fruto (LOGL), pueden ser diferentes para cada botón en las tres variedades. Debido a esta apreciación, se decidió comparar el promedio de este último valor por variedad, para definir si en este punto existe diferencia estadística entre variedades.

Para el tercer flujo del primer ciclo (2013) se observó menor dispersión de los datos observados a lo largo de las rectas y también en el valor final de diámetro y longitud de fruto. En este flujo destacó que la variedad ‘Carlos’ produjo una mayor cantidad de frutos, y todos ellos se ajustaron correctamente, mostrando menor dispersión que en el segundo flujo (Figuras 20 y 21).

A nivel de variedades y de forma gráfica, ‘Juana’ presentó rectas con mayor pendiente en la variable diámetro de frutos para ambos flujos del primer ciclo (2013), pudiendo significar mayor precocidad en esta variedad; también el diámetro final de fruto es mayor, condición que sitúa a esta variedad en ventaja, debido a que supone frutos más grandes y más homogéneos, ya que el último valor de diámetro de fruto no es tan disperso como en las demás variedades. La variedad ‘Carlos’ presentó mayor dispersión de datos observados durante el 2° flujo del primer ciclo (2013), lo cual indica que el tamaño final del fruto es variable para esta selección.

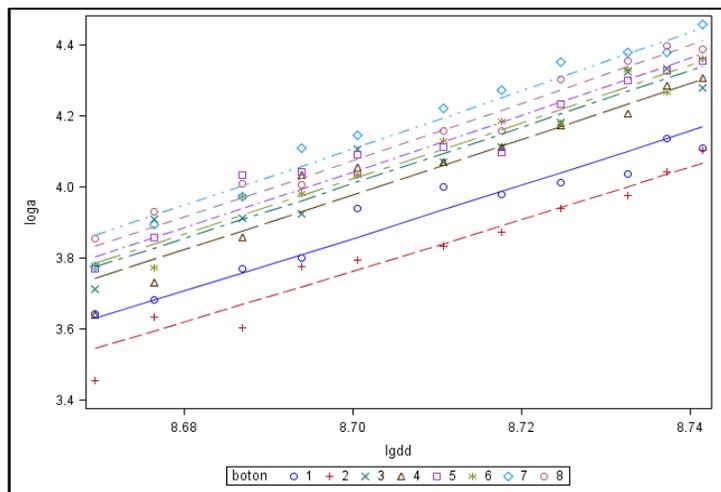


**Figura 18.** Rectas de regresión para la variable diámetro de fruto, correspondientes al 2º flujo del primer ciclo de producción. Medellín, Ver. 2013.

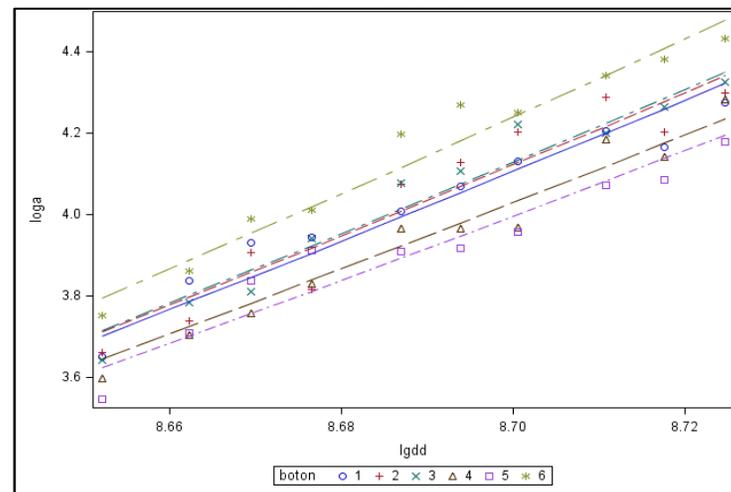


**Figura 19.** Rectas de regresión para la variable longitud de fruto, correspondiente al 2° flujo del primer ciclo de producción. Medellín, Ver. 2013.

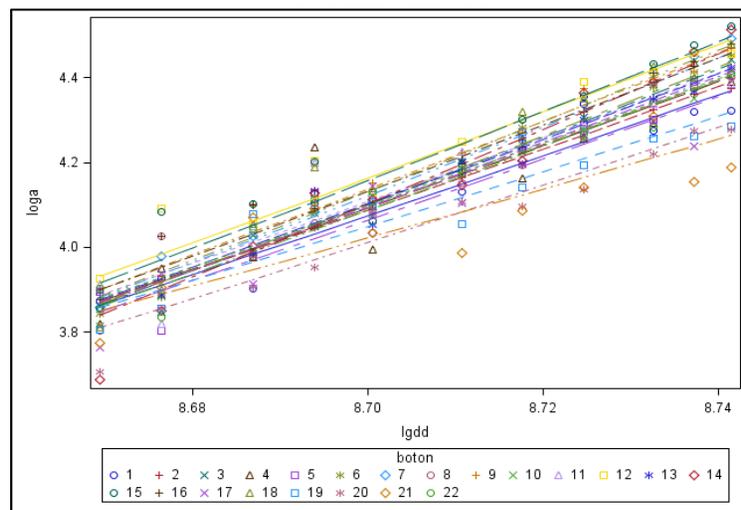
Variedad 'Ana'



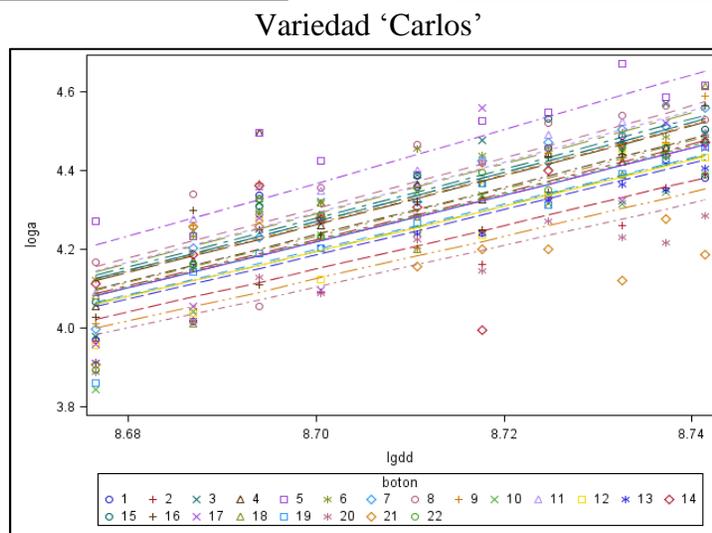
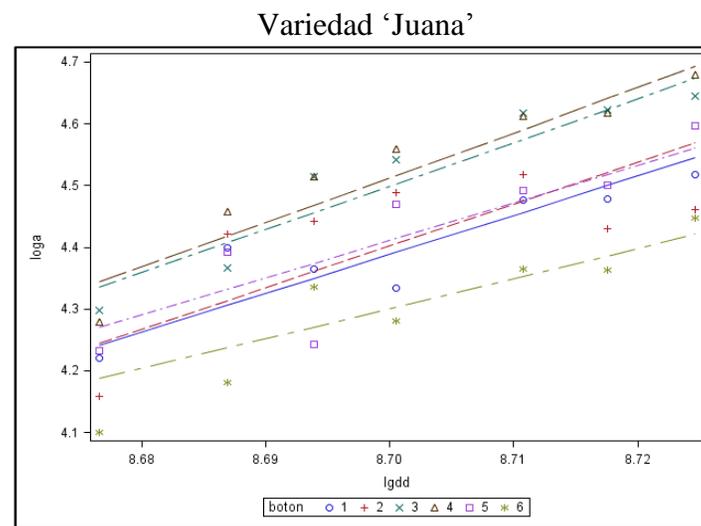
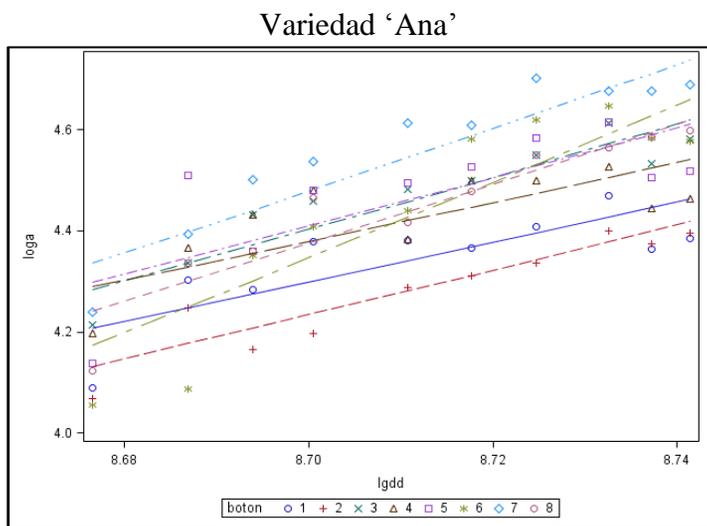
Variedad 'Juana'



Variedad 'Carlos'



**Figura 20.** Rectas de regresión para la variable diámetro de fruto, correspondientes al 3er flujo del primer ciclo de producción. Medellín, Ver. 2013



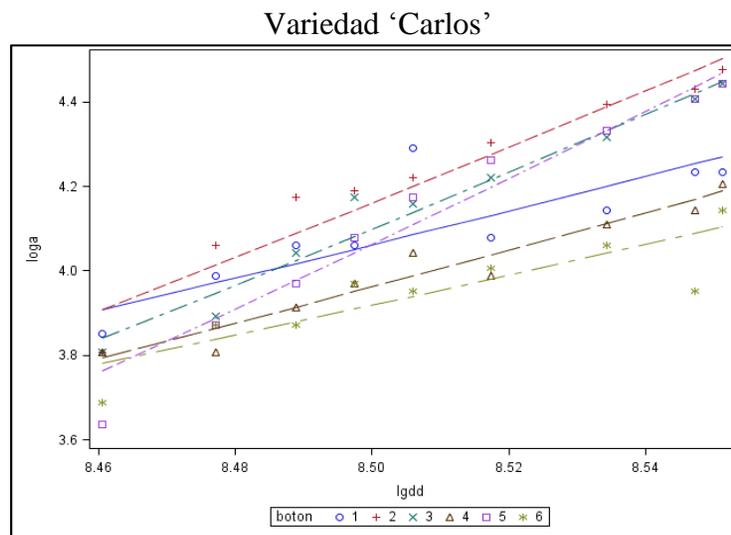
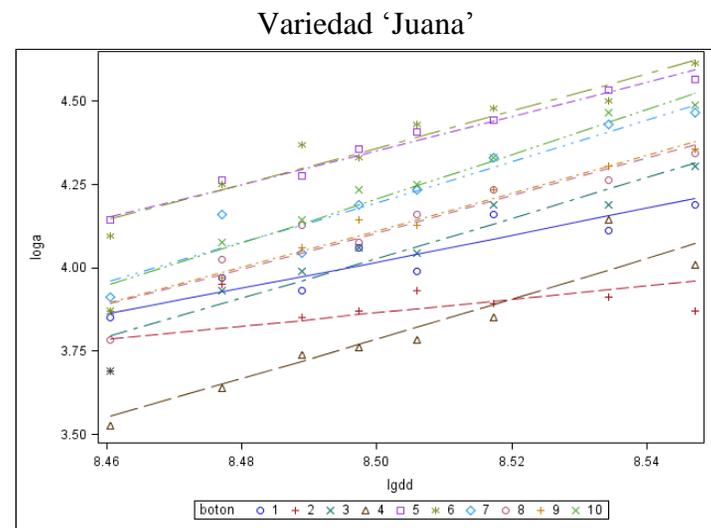
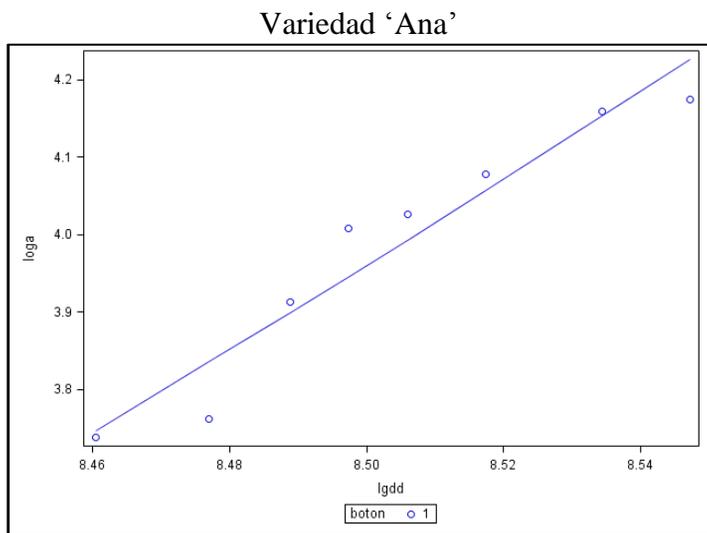
**Figura 21.** Rectas de regresión para la variable longitud de fruto, correspondiente al 3er flujo del primer ciclo de producción. Medellín, Ver. 2013

En el segundo ciclo de evaluación (2014), la variedad ‘Ana’ produjo solamente un fruto en los dos flujos. La variedad ‘Juana’ presentó mayor dispersión de los datos en el último valor de diámetro de fruto. Nuevamente esta variedad alcanza los valores máximos de diámetro y longitud de fruto en el segundo flujo (Figuras 22 y 23).

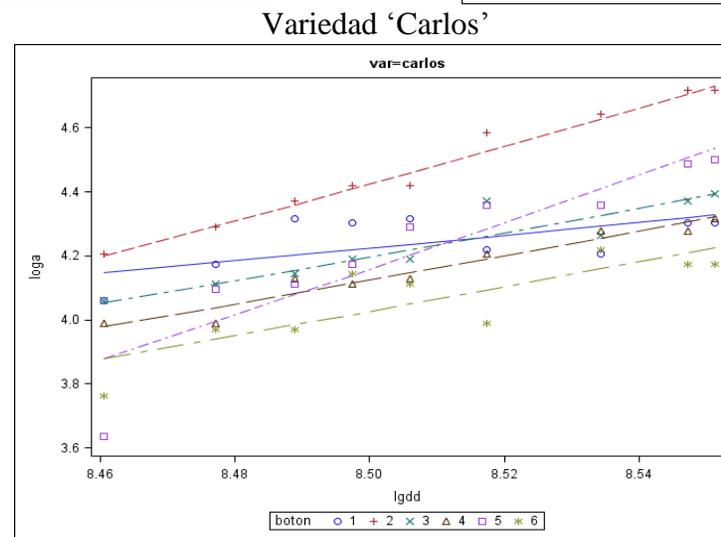
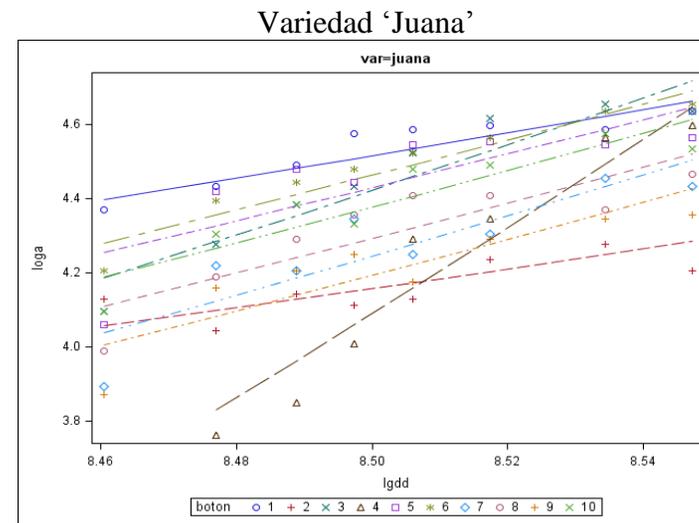
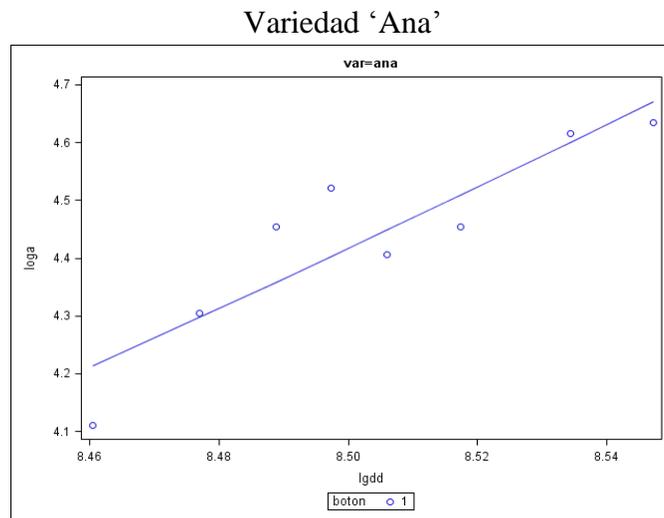
De forma gráfica, se aprecia que en el tercer flujo del segundo ciclo (2014), la variedad ‘Carlos’ mostró poca dispersión en el último valor de diámetro de fruto, mientras que en longitud de fruto, la dispersión en esta variedad, fue mayor que para la variedad ‘Juana’. Debido a la baja productividad de la variedad ‘Ana’, no fue posible comparar las pendientes entre esta variedad y las demás variedades, sin embargo, se aprecia que, para los dos flujos, los datos de longitud y diámetro de fruto se ajustan adecuadamente a la recta de regresión (Figuras 24 y 25).

Como resultados de la comparación del último valor de diámetro de fruto (correspondiente al máximo valor de LGDD), en el primer ciclo (2013), se observó que para el segundo flujo no se encontró diferencia significativa entre la variedad ‘Ana’ y las variedades ‘Carlos’ y ‘Juana’, mientras que entre la variedades ‘Carlos’ y ‘Juana’, la diferencia si fue significativa en el último valor de diámetro de fruto. Para el tercer flujo el comportamiento fue diferente, ya que ‘Ana’ mostró diferencia con las variedades Carlos y Juana, en tanto que para este flujo ‘Carlos’ y ‘Juana’ no fueron diferentes estadísticamente.

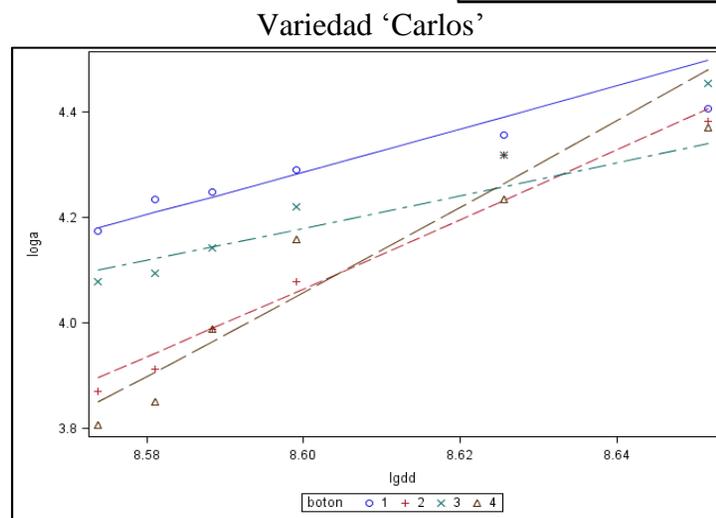
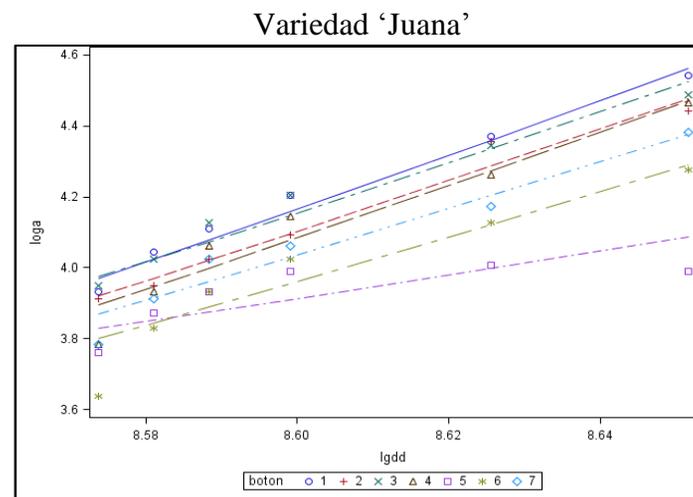
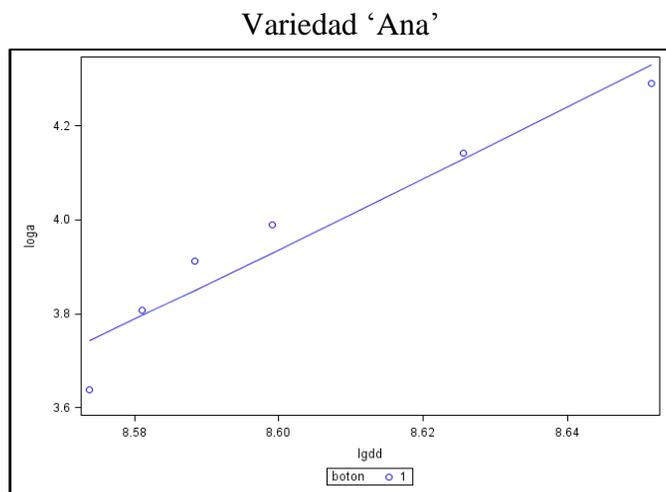
Para la variable longitud de fruto, en el 2° flujo, la variedad ‘Ana’ mostró diferencia significativa con la variedad ‘Carlos’, pero no con la variedad ‘Juana’; por su parte ‘Carlos’ y ‘Juana’ también fueron diferentes, al igual que para la variable diámetro de fruto. En el tercer flujo se encontró diferencia significativa en el último valor de longitud de fruto entre ‘Ana’ y ‘Carlos’, asimismo entre ‘Carlos’ y Juana; mientras que ‘Ana’ y ‘Juana’ no presentaron diferencia estadística (Cuadro 11).



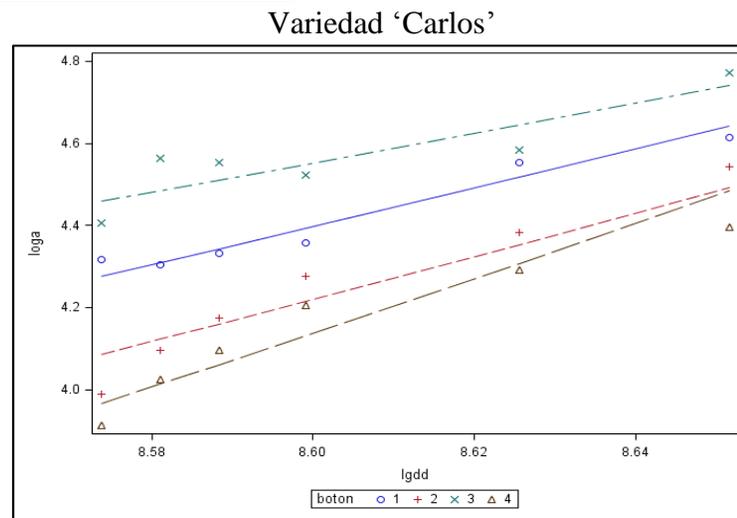
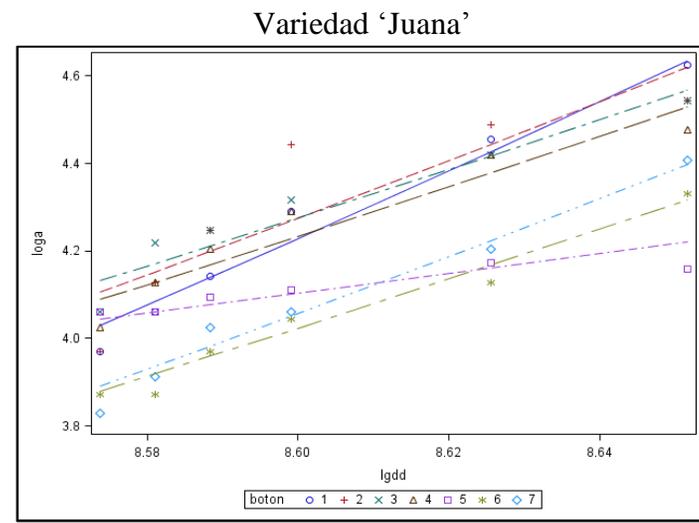
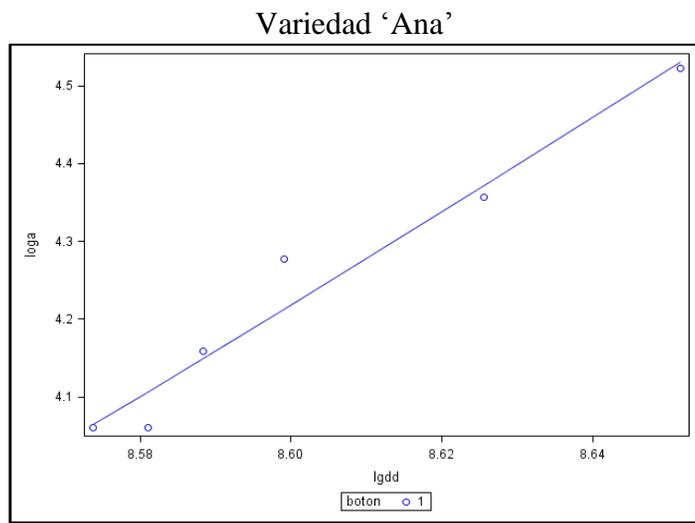
**Figura 22.** Rectas de regresión para la variable diámetro de fruto, correspondientes al 2º flujo del segundo ciclo de producción. Medellín, Ver. 2014.



**Figura 23.** Rectas de regresión para la variable longitud de fruto, correspondientes al 2° flujo del segundo ciclo de producción. Medellín, Ver. 2014.



**Figura 24.** Rectas de regresión para la variable diámetro de fruto, correspondientes al 3er flujo del segundo ciclo de producción 2014. Medellín, Ver.



**Figura 25.** Rectas de regresión para la variable longitud de fruto, correspondientes al 3er flujo del segundo ciclo de producción 2014. Medellín, Ver.

**Cuadro 11.** Comparación del último valor de diámetro y longitud de fruto en tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver. 2013.

Variable respuesta	Flujo 2			Flujo 3				
	variedad	vs	variedad	Pr >  t	variedad	vs	variedad	Pr >  t
Diámetro	'Ana'	vs	'Carlos'	0.3213 <sup>1</sup>	'Ana'	vs	'Carlos'	0.0028
	'Ana'	vs	'Juana'	0.1957	'Ana'	vs	'Juana'	0.0015
	'Carlos'	vs	'Juana'	0.0424	'Carlos'	vs	'Juana'	0.2116
Longitud	'Ana'	vs	'Carlos'	0.0002	'Ana'	vs	'Carlos'	0.0082
	'Ana'	vs	'Juana'	0.2741	'Ana'	vs	'Juana'	0.0780
	'Carlos'	vs	'Juana'	0.0137	'Carlos'	vs	'Juana'	0.0003

<sup>1</sup>Estos valores fueron comparados a un nivel de significancia de 0.05.

Como se mencionó anteriormente, en el segundo ciclo (2014), la producción de frutos fue menor en comparación con el primer ciclo (2013), particularmente para la variedad 'Ana' que sólo produjo un fruto en cada flujo. Dada esta condición, la variabilidad en el último valor de diámetro y longitud de fruto entre variedades no fue perceptible en el análisis, ya que en los dos flujos no se registraron diferencias significativas entre las variedades evaluadas para este último valor (Cuadro 12).

**Cuadro 12.** Comparación del último valor de diámetro y longitud de fruto en tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver. 2014.

Variable respuesta	Flujo 2			Flujo 3				
	variedad	vs	variedad	Pr >  t	variedad	vs	variedad	Pr >  t
Diámetro	'Ana'	vs	'Carlos'	0.6708 <sup>1</sup>	'Ana'	vs	'Carlos'	0.5182
	'Ana'	vs	'Juana'	0.5111	'Ana'	vs	'Juana'	0.3457
	'Carlos'	vs	'Juana'	0.6458	'Carlos'	vs	'Juana'	0.5457
Longitud	'Ana'	vs	'Carlos'	0.1284	'Ana'	vs	'Carlos'	0.7213
	'Ana'	vs	'Juana'	0.4421	'Ana'	vs	'Juana'	0.6764
	'Carlos'	vs	'Juana'	0.0936	'Carlos'	vs	'Juana'	0.1958

<sup>1</sup>Estos valores fueron comparados a un nivel de significancia de 0.05.

De forma general, mediante estas comparaciones, se observaron más diferencias entre el tamaño de los frutos de las variedades 'Juana' y 'Carlos'.

Al comparar, mediante el procedimiento GLIMMIX, las pendientes de las rectas de regresión de las tres variedades, no se encontró diferencia significativa entre variedades en ninguno de los dos ciclos y por lo tanto en ningún flujo. Esta respuesta se observó tanto en diámetro como en longitud de fruto. Si bien, en las gráficas se aprecia que la variedad ‘Juana’ pudiera tener rectas de regresión con mayor pendiente, mediante este análisis se determinó que las pendientes para el crecimiento de fruto de amarre a madurez son estadísticamente iguales para las tres variedades (Cuadro 13), indicando que las tres variedades evaluadas crecen con la misma velocidad.

**Cuadro 13.** Valores de Probabilidad (P-value) obtenidos de la comparación de pendientes de las líneas de crecimiento de frutos entre variedades (2013-2014).

Variable respuesta	Primer ciclo (2013)		Segundo ciclo (2014)	
	Segundo flujo	Tercer flujo	Segundo flujo	Tercer flujo
Diámetro de fruto	0.3548 <sup>1</sup>	0.1444	0.9637	0.4654
Longitud de fruto	0.4004	0.4371	0.9103	0.8621

<sup>1</sup>Estos valores fueron comparados a un nivel de significancia de 0.05.

Se realizó también una comparación de pendientes para determinar posibles diferencias entre flujos en cada ciclo para cada variedad. Como resultados, en el primer ciclo (2013), en diámetro de fruto las tres variedades mostraron diferencia significativa entre flujos, es decir, las pendientes de las líneas de crecimiento correspondientes al diámetro de fruto fueron diferentes entre el segundo y el tercer flujo en las tres variedades (Cuadro 14).

En longitud de fruto, primer ciclo (2013), solamente para la variedad ‘Carlos’ las pendientes fueron diferentes entre flujos. Esta diferencia en longitud puede atribuirse a que en el tercer flujo ‘Carlos’ produjo la mayor cantidad de frutos, por lo tanto los frutos de esta variedad fueron más pequeños; la diferencia fue más evidente en la longitud final de los frutos (Cuadro 14).

En el segundo ciclo (2014), las pendientes fueron iguales entre el 2° y 3er flujo para las tres variedades, tanto en diámetro como en longitud de fruto (Cuadro 14).

**Cuadro 14.** Valores de Probabilidad (P-value) obtenidos de la comparación de pendientes de las líneas de crecimiento de frutos, entre flujos en cada ciclo (2013-2014).

Variedad	Primer ciclo (2013)		Segundo ciclo (2014)	
	Flujo 2 vs Flujo 3		Flujo 2 vs Flujo 3	
	Diámetro	Longitud	Diámetro	Longitud
Ana	0.001	0.2109	0.1047	0.6203
Juana	0.001	0.1013	0.8915	0.9527
Carlos	0.001	0.0003	0.2748	0.2309

<sup>1</sup>Estos valores fueron comparados a un nivel de significancia de 0.05.

Al comparar las pendientes del segundo flujo entre los dos ciclos, no se encontró diferencia significativa en ninguna de las tres variedades, tanto en diámetro como en longitud de fruto, es decir, la velocidad de crecimiento de fruto para el flujo 2 fue la misma en los ciclos 2013 y 2014 en cada variedad. Con relación al tercer flujo, la comparación arrojó diferencia significativa para las variedades ‘Juana’ y ‘Carlos’ en las pendientes del diámetro de fruto, lo que indica que el ritmo de crecimiento fue distinto entre los dos ciclos, con respecto al flujo 3 (Cuadro 15).

**Cuadro 15.** Valores de Probabilidad (P-value) obtenidos de la comparación de pendientes de las líneas de crecimiento de frutos para cada flujo, entre los dos ciclos (2013-2014).

Variedad	Flujo 2		Flujo 3	
	Ciclo 2013 vs 2014		Ciclo 2013 vs 2014	
	Diámetro	Longitud	Diámetro	Longitud
Ana	0.74	0.45	0.89	0.67
Juana	0.57	0.56	0.001	0.41
Carlos	0.22	0.34	0.04	0.67

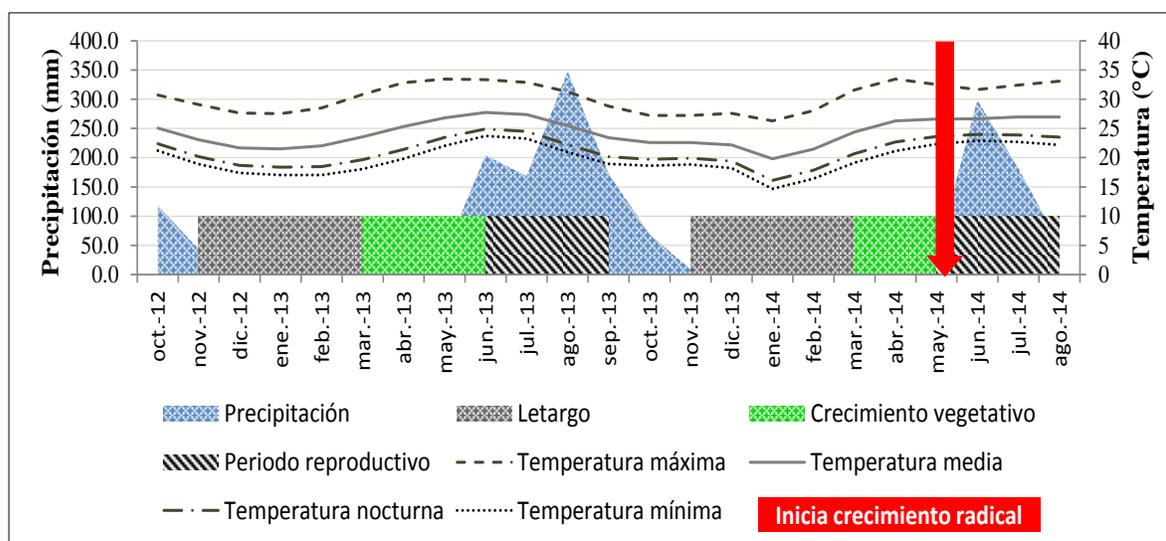
<sup>1</sup>Estos valores fueron comparados a un nivel de significancia de 0.05.

#### 4.5 Crecimiento vegetativo y Crecimiento de raíz

El periodo reproductivo de la pitahaya estuvo precedido por un periodo de letargo, en el que las plantas no manifestaron crecimiento vegetativo, específicamente de tallos. La etapa de letargo corresponde a los meses en que la temperatura media es más baja; cuando esta

temperatura comienza a aumentar, inicia el crecimiento vegetativo y la aparición de nuevas ramas. El periodo húmedo influyó tanto en el crecimiento vegetativo como en la etapa reproductiva.

En la Figura 26 se observa que, de manera general y para ambos ciclos de evaluación, el inicio del letargo ocurrió en el mes de noviembre; el crecimiento vegetativo dio inicio en el mes de marzo, aunque cabe destacar que la brotación vegetativa y el crecimiento de ramas adultas fue mínimo para las tres variedades, esto se observó previo al inicio del periodo reproductivo, en ambos ciclos de producción.

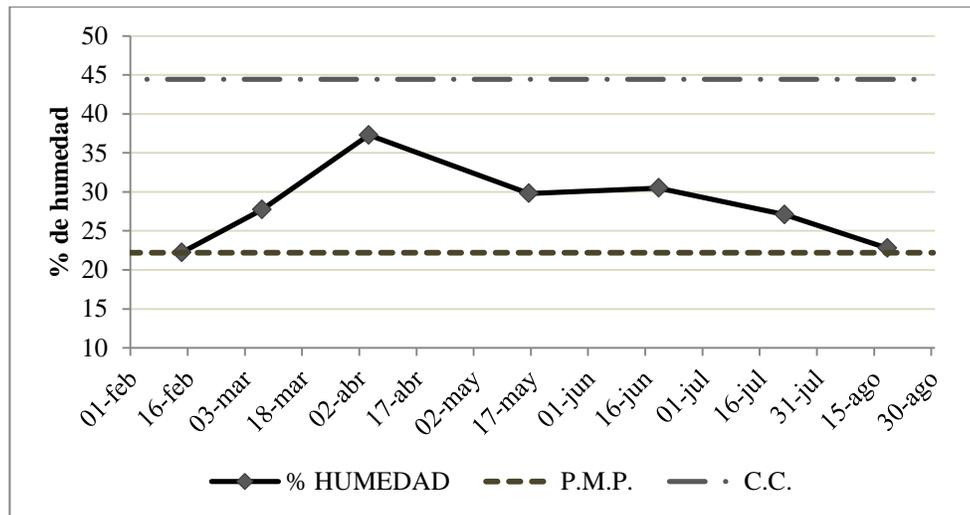


**Figura 26.** Periodos de letargo y crecimiento vegetativo en relación con los datos meteorológicos registrados en Medellín, Ver. 2012-2014.

A partir de febrero (2014) se exploró el comportamiento del sistema radical de las plantas de pitahaya, observándose que las raíces permanecen sin crecimiento cuando la condición de humedad en el suelo es baja, esto condiciona el inicio de los flujos nuevos de crecimiento radical, así como, del crecimiento vegetativo. Luna *et al.* (2004), manifiestan que la respuesta de algunas especies al estrés hídrico es justamente la reducción del área foliar. Se identificó como fecha de inicio del crecimiento radical la segunda semana de mayo, previo al inicio de la etapa reproductiva. En los meses de julio y agosto de 2014, el crecimiento radical fue mínimo, atribuyéndose este comportamiento al hecho de estarse sucediendo el crecimiento reproductivo (Figura 26).

#### 4.6 Humedad de suelo

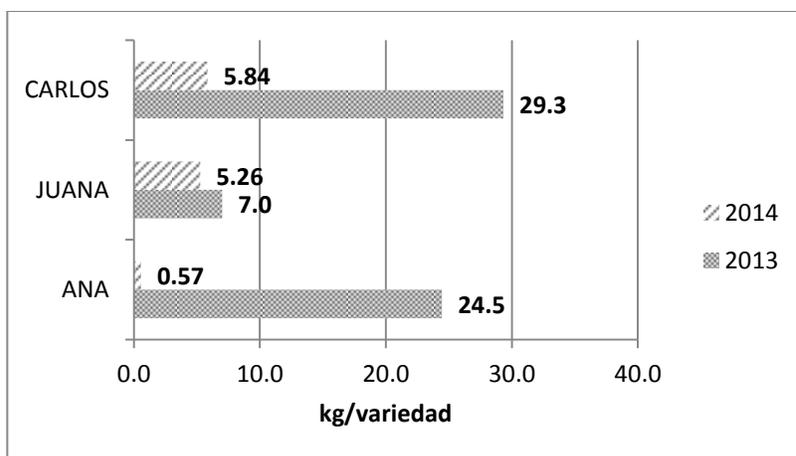
Debido al estado en que se encontraban las plantas, previo al inicio de la etapa reproductiva del segundo ciclo, se realizó el monitoreo de la humedad del suelo. Mediante los muestreos fue posible determinar que al inicio del segundo ciclo (2014) el suelo se encontraba casi a punto de marchitez permanente; no obstante, con la aplicación del riego a finales de febrero, la humedad del suelo se incrementó considerablemente, favoreciendo el inicio del periodo reproductivo en este ciclo. Para finales de julio de 2014, el nivel de humedad del suelo disminuyó de forma drástica hasta llegar casi al PMP, lo cual afectó la productividad de las plantas reflejándose en la baja producción de frutos del tercer flujo de este ciclo (Figura 27).



**Figura 27.** Porcentaje de humedad de suelo registrada durante el ciclo 2014 en Medellín, Veracruz.

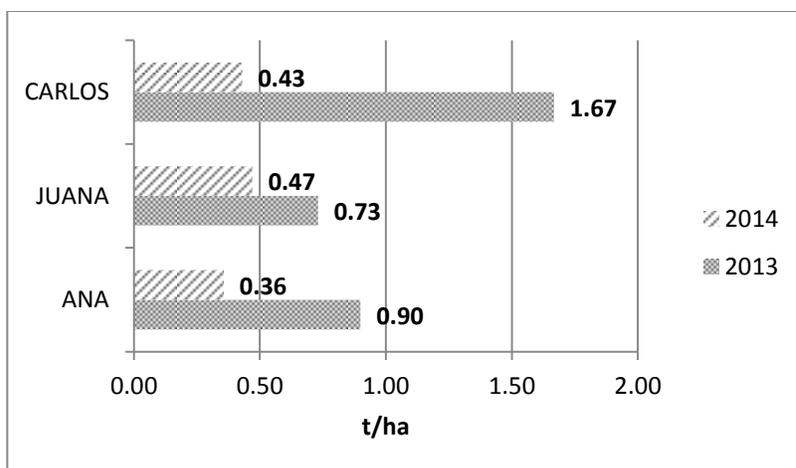
#### 4.7 Rendimiento de fruto

En el primer ciclo de evaluación (2013), la variedad ‘Carlos’ registró la mayor producción de fruta en las ocho plantas correspondientes a esta variedad, mientras que la variedad ‘Juana’ mostró el rendimiento más bajo. Para el segundo ciclo (2014), nuevamente ‘Carlos’ produjo el mayor rendimiento, mientras que la variedad ‘Ana’ produjo solamente dos frutos en todo el ciclo, uno en cada flujo (Figura 28).



**Figura 28.** Rendimiento de fruto total registrado en las ocho plantas de cada variedad de pitahaya. Medellín, Ver. 2013-2014.

Al transformar el rendimiento en toneladas por hectárea la variedad ‘Carlos’ sería la más rendidora en el 2013, mientras que en el 2014, la variedad ‘Juana’ sería la de mayor rendimiento por hectárea, aunque cabe destacar que el rendimiento de las tres variedades fue evidentemente menor en este ciclo (Figura 29).



**Figura 29.** Rendimiento en toneladas por hectárea de tres variedades de pitahaya. Medellín, Ver. 2013-2014.

Para los dos ciclos de producción, en general se observó que los rendimientos de fruta son inferiores, en comparación con el rendimiento promedio nacional que es de  $4 \text{ t ha}^{-1}$  y que, en condiciones óptimas y con variedades distintas a las evaluadas en Veracruz se han llegado

a registrar rendimientos máximos entre 7 y 10 toneladas por hectárea en los estados de Yucatán y Puebla (SIAP, 2014).

#### 4.8 Calidad de fruto

En la Figura 30 se muestra el color de fruto específico para cada variedad al momento de madurez de cosecha. Cabe mencionar que la observación fue solamente visual y con base en la experiencia de los productores, requiriéndose entre 26 y 29 días desde la antesis para alcanzar este índice de cosecha. Según Castillo y Ortiz (1994), la maduración del fruto de pitahaya comprende desde la primera manifestación de coloración roja en la cáscara hasta la aparición de un rayado color marrón. Centurión *et al.* (2008) consideraron que la etapa útil de cosecha, ocurre desde los 25 días después de la apertura floral y que, los frutos cortados a los 29 y 31 días fueron los frutos con mejor sabor. Con base en esta apreciación, el período entre 26 y 28 días después de la floración, es la etapa más apta para la cosecha de las variedades evaluadas en Veracruz.



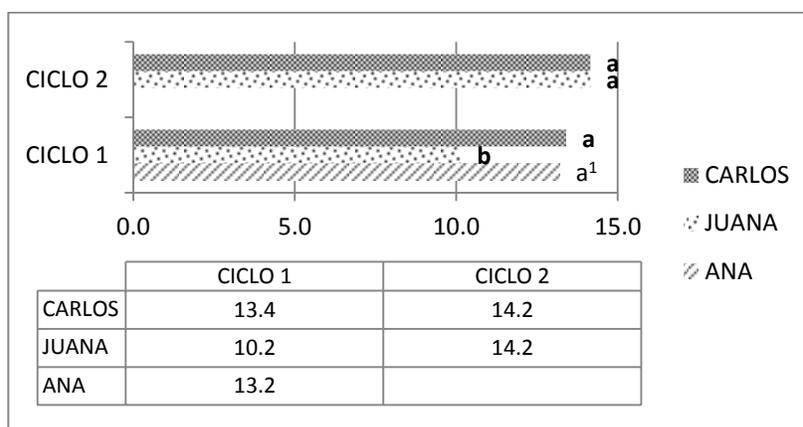
**Figura 30.** Color de fruto indicado al momento de madurez de cosecha de las variedades de pitahaya: a) 'Ana', b) 'Juana', c) 'Carlos'.

En la Figura 31 se muestran los frutos y el color de pulpa de cada variedad al momento de madurez de consumo, que corresponde a 32 o 33 días después de la antesis. En las tres variedades, el color de la cáscara (sin las brácteas) fue de color rosa medio y el color de pulpa gris claro, no obstante, en la variedad 'Juana' el tono de la cáscara es más intenso. El color verde pálido de las brácteas, se utiliza también como indicador del momento de madurez de cosecha. No obstante esta caracterización, no existe una determinación exacta de los índices de cosecha para la pitahaya (Rebolledo, *et al.*, 2009).



**Figura 31.** Frutos de tres variedades de pitahaya: a) ‘Ana’, b) ‘Juana’, c) ‘Carlos’, en la fase de madurez de consumo.

Con relación al contenido de grados Brix, en la Figura 32 se presenta la comparación a nivel de variedades en los dos ciclos. Para el primer ciclo de producción, las variedades ‘Carlos’ y ‘Ana’ registraron un mayor contenido de grados Brix, mientras que para el segundo ciclo no se encontró diferencia significativa entre las variedades ‘Juana’ y ‘Carlos’, considerando que ‘Ana’ no pudo ser comparada al producir solo un fruto en cada flujo.

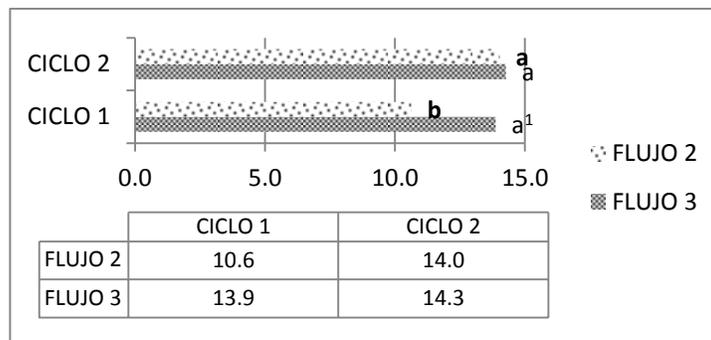


<sup>1</sup>Medias con la misma letra en cada ciclo son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

**Figura 32.** Grados Brix registrados en frutos de pitahaya a nivel de variedades en los dos ciclos de evaluación. 2013-2014.

Si bien, los resultados obtenidos muestran inconsistencia al presentar diferencia en el contenido de grados Brix en el primer ciclo (2013) y no manifestar diferencia significativa en el segundo ciclo (2014), es difícil determinar qué factor condiciona esta respuesta, más si se cuenta con pocos frutos para la evaluación, por lo que los resultados pudieron verse afectados.

A nivel de flujos, para el primer ciclo (2013) el contenido de grados Brix en los frutos fue mayor en el tercer flujo (13.9), mientras que en el segundo ciclo (2014) no se encontró diferencia estadística entre flujos (Figura 33).



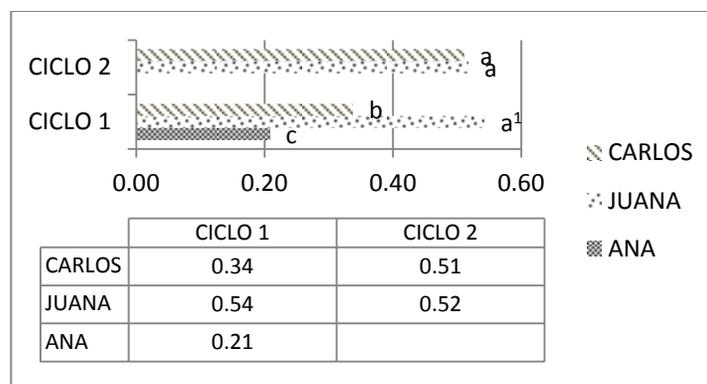
<sup>1</sup>Medias con la misma letra en cada ciclo son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

**Figura 33.** Grados Brix registrados en frutos de pitahaya a nivel de flujos en los dos ciclos de evaluación. 2013-2014.

En general, se reporta para la pitahaya de 7-11% de SST (Vaillant, *et al.* 2005), por lo cual las variedades en estudio sobrepasan estos niveles en los dos ciclos, con excepción del segundo flujo del primer ciclo (2013). Los niveles de °Brix encontrados, coinciden con los resultados encontrados por Castillo, *et al.* (2005) en genotipos de cáscara rojiza, donde los valores de grados Brix oscilan entre 12 y 14.1.

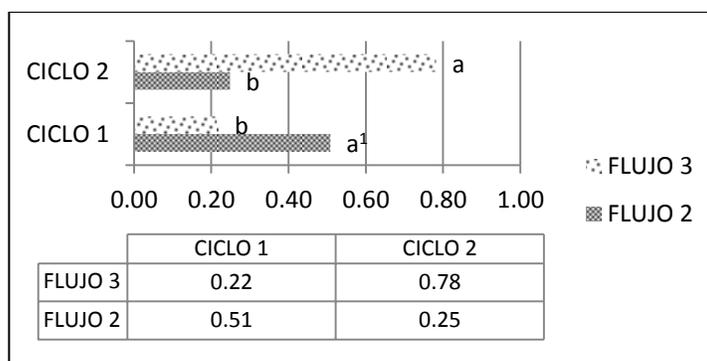
Respecto a la concentración de ácido málico, para el primer ciclo (2013) la variedad Juana presentó el porcentaje de acidez más alto (0.54), mientras que para ‘Ana’ la concentración de ácido málico fue la más baja (0.21). En el segundo ciclo (2014), no se encontró diferencia estadística entre variedades (Figura 34).

En la Figura 35 se aprecia que, a nivel de flujos, en ambos ciclos se encontró diferencia significativa en el porcentaje de acidez; para el primer ciclo (2013) los frutos resultaron con un mayor porcentaje de ácido málico (0.5) en el segundo flujo. Para el segundo ciclo (2014), el resultado fue inverso, ya que en el tercer flujo se registró el porcentaje de acidez más alto (0.8) a diferencia del flujo 2 (0.25).



<sup>1</sup>Medias con la misma letra en cada ciclo son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

**Figura 34.** Porcentaje de ácido málico registrado en frutos de pitahaya a nivel de variedades en los dos ciclos de evaluación. 2013-2014.



<sup>1</sup>Medias con la misma letra en cada ciclo son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

**Figura 35.** Porcentaje de ácido málico registrado en frutos de pitahaya a nivel de flujos en los dos ciclos de evaluación. 2013-2014.

De acuerdo con lo reportado por Centurión *et al.* (1999), para un fruto de pitahaya la concentración de acidez debe rondar el 0.24 %. Para el caso de las pitahayas evaluadas en Veracruz, los valores de acidez son más altos, por lo cual se asume que el sabor de los frutos es más ácido, particularmente en el flujo 3 del segundo ciclo (2014), donde la cantidad de frutos producidos por las tres variedades fue mínima.

Para el consumo de frutos de *H. undatus*, el valor ideal de la relación °Brix/Acidez debe ser menor a 40 (Nerd *et al.*, 1999). Con base en esta apreciación, para el primer ciclo (2013) las variedades Juana y Carlos mostraron índices de °Brix/acidez menores a este valor para el segundo flujo, mientras que para el tercer flujo las tres variedades sobrepasaron la relación de 40 %, siendo esta relación mayor para la variedad Ana (Cuadro 16). Esta

condición supone un sabor más insípido para esta última variedad. Para el segundo ciclo (2014), los resultados fueron distintos, ya que en el flujo 2 las tres variedades superaron el valor de 40 %, mientras que en el flujo 3, el sabor de los frutos mejoró considerablemente al registrarse valores menores a 40 %.

**Cuadro 16.** Valores la relación °Brix/Acidez registrados en frutos de pitahaya en los dos ciclos de evaluación. 2013-2014.

Flujo	Variedad	Ciclo 1		Ciclo 2	
2	‘Ana’	41.1	a <sup>1</sup>	56.2	
	‘Juana’	10.3	b	49.7	a
	‘Carlos’	27.4	c	66.1	a
3	‘Ana’	94.1	a	16.9	
	‘Juana’	50.7	b	20.4	a
	‘Carlos’	56.6	b	16.5	a

<sup>1</sup>Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

Los resultados observados pueden atribuirse a que en el flujo 3 del segundo ciclo (2014), el porcentaje de ácido málico encontrado en las tres variedades fue elevado, ocasionando que el índice de °Brix/acidez disminuyera drásticamente, favoreciendo así un mejor sabor de fruto. A su vez, este comportamiento en relación a la acidez de los frutos puede explicarse con el régimen de las variedades, ya que cuanto más alto es el régimen térmico, menor es el contenido de acidez en un fruto. Considerando esta condición, se entiende porqué en el tercer flujo, donde el requerimiento térmico fue el menor, el porcentaje de ácido málico fue el más alto.

## V. CONCLUSIONES

Mediante la realización de este estudio fue posible caracterizar la fenología de tres variedades de pitahaya endémicas de la región central de Veracruz, y determinar la influencia de los factores climáticos temperatura y precipitación en la ocurrencia de las fases y duración de las etapas fenológicas.

El periodo reproductivo de la pitahaya se observó ampliamente condicionado a la incidencia de precipitaciones y humedad del suelo; sin embargo, la aplicación de riego en este ciclo propició la anticipación de la brotación floral. La brotación floral de la pitahaya comenzó en el primer ciclo (2013) el 29 de mayo, mientras que en el segundo ciclo (2014) dio inicio el 4 de mayo, esto representó una anticipación de 25 días con respecto al primer ciclo. Destaca que solamente se encontró diferencia significativa para la fecha de madurez, siendo 'Juana' la primera variedad en llegar a esta fase.

Las temperaturas registradas a lo largo del año en la zona de estudio, permitieron una acumulación diaria de GDD por encima de la temperatura base de la *H. undatus* (7 °C). El RT total (brotación-madurez fisiológica) fue constante en los dos ciclos de evaluación.

El modelo lineal ( $\log x = f(\lg \text{gdd})$ ) describe en forma más precisa el crecimiento de fruto de las variedades de pitahaya estudiadas en Veracruz, considerando el logaritmo de las variables respuesta, diámetro y longitud de fruto, y el logaritmo de GDD. No se encontraron diferencias significativas entre variedades, al comparar las pendientes de las rectas de regresión en ninguno de los dos flujos de cada ciclo, lo cual indica que las tres variedades crecen al mismo ritmo en relación a la acumulación de GDD.

De forma adicional, se determinó que la variedad 'Carlos' produjo el mayor rendimiento de fruto en ambos ciclos, así como el máximo valor de °Brix, mientras que en % de acidez, 'Juana' fue superior a las demás variedades. De acuerdo con la relación °Brix/Acidez, las variedades mostraron un mejor sabor en el segundo flujo de primer ciclo (2013) y en el flujo 3 del segundo ciclo (2014), siendo la variedad 'Juana' la que mostró una relación °Brix/Acidez más baja, por lo que esta variedad resultó con mejor sabor.

## VI. LITERATURA CITADA

Aguilera, C. M., E. R. Martínez. 1996. Relaciones agua, suelo, planta, atmósfera. Universidad Autónoma Chapingo. 256 p.

AOAC. Association of Official Agricultural Chemist. 1990. Official Methods of analysis of Association of Official Analytical Chemist. Fruits products. 13<sup>th</sup> ed. Washington D.C. 1023 p.

Arnau, J. y N. Balluerka. Análisis de datos longitudinales y de curvas de crecimiento Enfoque clásico y propuestas actuales. 2004. *Psicuthema*, 16 (1), 2004, 156-162

Bárceñas A., P. 2002. Determinación de zonas potenciales para el establecimiento de plantaciones de pitahaya (*Hylocereus* spp.). Tesis doctoral Colegio de Postgraduados Montecillo. 144 p.

Becerra O., L. 1986. El cultivo de la pitahaya. Federación Nacional de cafetaleros de Colombia. Bogotá, Colombia, 19p.

Becerra O., L. A. 1994. El cultivo de la pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). In: Villegas, M. *et al.* (eds.). Memorias de la primera reunión internacional y segunda nacional sobre frutales nativos e introducidos con demanda nacional e internacional. Montecillo, México. pp: 123-142.

Benzing, D. H. 1998. Vulnerabilities of tropical forests to climate change: The significance of resident epiphytes. *Climate Change*, 39:519-540.

Britton, N. L., J. N. Rose, 1963. Descriptions and illustrations of plants of the cactus family. Vol. I and II, Dover Publ., Inc., New York, USA, pp. 183–195.

Cáliz de D., H. 2004. Distribución geográfica de las pitahaya (*Hylocereus*) en la República Mexicana, *Cact. Suc. Mex.* 49: 4–23.

Cáliz de D., 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. Villahermosa, Tab., México. 110 p.

Calvo H., R. M., J. L González A., S. Pérez, B. 1994. Manual de Modelos no Lineales en los Ámbitos Agronómico, Ganadero y Forestal. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España. 110 p.

Castillo M., R. 2006. Aprovechamiento de la pitahaya: bondades y problemáticas. Departamento de Ciencias, Universidad de Quintana Roo. *Revista Chaos Conciencia*, 1: 13-18.

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.

Castillo M., R., y Y. D. Ortiz H., 1994. Floración y Fructificación de *Hylocereus undatus* (pitahaya) en Zaachila, Oaxaca. Revista Fitotecnia Mexicana, 17:12-19.

Centurión Y., A. R., S. Solís P., C. Saucedo V., R. Báez S., E. Sauri D. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. Revista Fitotecnia Mexicana, 31 (1):1-5.

Centurión Y., A. R., S. Solís P., E. Mercado, R. Báez S., C. Saucedo V., E. Sauri D. 1999. Variación de las principales características de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su maduración postcosecha. Horticultura Mexicana, 7:419–425.

Cid T., E. 2005. Análisis Comparativo del cv. Mencía. Tesis Universidad de Vigo. 187 p.

Cross, H. Z., and M. S. Zuber. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. Agronomical Journal, 64, 351-355.

De Fina, A. L. y A. C. Ravelo 1979. Climatología y fenología agrícolas. Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA). 351 p.

Del Alba, B. R. 2003. El cultivo de pitahaya y sus sistemas de producción. Folleto Técnico No. 10. SAGARPA. INIFAP. CIRSE. Campo Experimental Chetumal. Chetumal, Q. Roo, México. 40 p.

Del Ángel P., A. L., C. A. Hernández E., A. Rebolledo M. y R. Zetina L. 2012. Pitahayas: patrimonio biocultural para diversificar la agricultura y la alimentación. Libro técnico No. 31. CIRGOC-INIFAP. Veracruz, México. 183 p.

Díaz P., G. 2006. Regionalización Edafoclimática y Fisiográfica del Trópico Subhúmedo de Veracruz. Foro Regional “Estrategias para el Manejo sustentable del Trópico Subhúmedo en Veracruz. Universidad Veracruzana. Disponible en: <http://www.uv.mx/apps/agronomia/forotsh/Documentos/Memorias%20Foro-SH.pdf>

Cruz D., P. E. 2008. Fenología reproductiva de *Isolatocereus dumortieri* (Sheidw.) Backeb. (Cactaceae) y su relación con variables hídricas en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán. Tesis Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 32 p.

Elías C., F. y F. Castelvi S. 2001. Agrometeorología. Ed. Mundiprensa, 2ª Ed. 517 p.

Esquivel, P., F. C. Stintzing and C. Reinhold. 2007. Comparison of morphological and chemical fruit traits from different pitaya genotypes (*Hylocereus* sp.) grown in Costa Rica. Journal of Applied Botany and Food Quality, 81(1):7-14.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Trade. Consultado el 18 de junio de 2013. Disponible en: [http://faostat3.fao.org/home/index\\_es.html#VISUALIZE](http://faostat3.fao.org/home/index_es.html#VISUALIZE)

Feng-Ru, C. and Y. Chung-Ruey. 1997. Flowering and fruit growth of pitaya. (*Hylocereus undatus* Britt. & Rose). Journal of Chinese Society of Horticultural Science, 43: 314-321.

- Fouqué, A. 1972. Espèces fruitières d'Amérique tropicale. *Fruits*, 27:200- 218.
- Gobierno del Estado de Veracruz. 2014. Cuadernillos Municipales 2014. 11 p.
- Grageda G., J., G. Osorio A., R. Sábori P., y J. L. Ramírez A. 2002. Uso de estaciones meteorológicas automatizadas en la agricultura. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico No. 24. Campo Experimental Costa de Hermosillo. Hermosillo, Sonora, México. 28 p. (Folleto técnico No. 24)
- Graham, E. A. and J. L. Andrade. 2004. Drought tolerance associated with vertical stratification of two co-occurring epiphytic bromeliads in a tropical dry forest. *American Journal of Botany*, 91: 699-706.
- Gunasena, H. P., D. K. Pushpakumara, M. Kariawasam. 2007. Dragon fruit. *In*: D. K. Pushpakumara, Gunasena H. P., and H., P. Singh (eds). *Underutilized fruit trees in Sri Lanka*. I. New Delhi India: World agroforestry centre ICRAF. pp. 110–40.
- Hernández E., C. A. Evaluación postcosecha de tres selecciones de pitahaya (*Hylocereus undatus*), en refrigeración y atmosferas controladas. 2012. Tesis Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 87 p.
- Hoyos G., D., J. G. Morales O., H. Chavarría A., A. P. Montoya R., G. Correa L., S. C. Jaramillo V. 2012. Acumulación de Grados-Día en un Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.) en un Modelo de Producción Aeropónico. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 65(1): 6389-6398.
- Kshirsagar, A. M. and W. B. Smith. 1995. *Growth Curves*. Marcel Dekker, New York. ISBN 0-8247-9341-2. 359 p.
- Legaria S., J. P., M. E. Alvarado C. y R. Gaspar H. 2005. Diversidad Genética en Pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth. Britton y Rose). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28 (3):179-185.
- Lichtenzweig, J., S. Abbo, A. Nerd, N. Tel-Zur and Y. Mizrahi. 2000. Cytology and mating systems in the climbing cacti *Hylocereus* and *Selenicereus*. *American Journal of Botany*, 87 (7):1058–1065.
- Littell, R.C., G. A. Milliken, W. W. Stroup, R. D. Wolfinger, and O. Schabenberger. 2006. *SAS® for Mixed Models*, Second Edition. Cary NC; SAS Institute Inc.
- Luna F., W., H. Estrada M., J. J. M. Jiménez O., L. L. Pinzón-L. 2012. Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*, 30 (4): 343-353.
- Lüttge U. 1997. *Physiological Ecology of Tropical Plants*. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 384 pp.
- Martínez C., R. 2011. Relaciones entre genotipo, productividad y calidad de fruto en pitahaya (*Hylocereus* spp.). Tesis Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 66 p.

- McMaster, G. S., and W. Wilhelm. W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87 (4): 291–300.
- McMaster, G.S., 1993. Another wheat (*Triticum* spp.) model? Progress and applications in crop modeling. *Rivista di Agronomia* 27, 264-272.
- McMaster, G.S., W. Wilhelm W., A. Morgan J. 1992. Simulating winter wheat shoot apex phenology. *Journal of Agricultural Science*, 119: 1-12.
- Merten, S. 2004. A review of *Hylocereus* production in the United States. *Yearbook West Australian Nut and Tree Crops Association* 27: 20-29.
- Miller, P., W. Lanier and S. Brandt. 2001. Using Growing Degree Days to Predict Plant Stages. Montana State University. Montguide MT200103 AG 7/2001. Fecha de consulta: 12/13/2013. Disponible en: <http://msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/MT200103AG.pdf>
- Mizrahi Y., A. Nerd and P. S. Nobel. 1997. Cacti as crops. *Horticultural Reviews* 18:291–319.
- Mizrahi, Y. and A. Nerd. 1999. Usage of various cactus species as fruit and vegetable crops in Israel. *In: Aguirre R., J.R., Reyes A., J.A. (eds.) Memorias del 8°. Congreso Nacional y 6°. internacional sobre el conocimiento y aprovechamiento del Nopal. México. pp. 240–254. ISBN 968- 7674-64-4.*
- Montgomery D., C. 1991. *Diseño y análisis de experimentos*. Ed. Grupo Editorial Iberoamericana, México, 589 p.
- Nassar, J. M., y U. Emaldi. 2008. Fenología reproductiva y capacidad de regeneración de dos cardones, *Stenocereus Griseus* (Haw.) Buxb. y *Cereus repandus* (L.) Mill. (Cactaceae). *Acta Botánica Venezolana*, 31 (2): 495-528.
- Nerd A. and Mizrahi, Y. 1997. Reproductive biology of cactus fruit crops. *In: Janick, J. (ed). Horticultural Review*, 18: 321-346. New York, USA.
- Nerd, A., F. Gutman, and Y. Mizrahi. 1999. Ripening and postharvest behavior of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). *Postharvest Biology and Technology*, 17(1):39-45.
- Nerd, A., Y. Sitrit, R. Kaushik and Y. Mizrahi. 2002. High summer temperatures inhibit flowering in vine pitaya crops (*Hylocereus* spp.). *Scientia Horticulturae*, 96: 343–350.
- Nobel, P. S. 1988. *Environmental Biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Press. New York, USA. 270 pp.
- Nobel, P. S. 1991. Tansley Review No. 32. Achievable productivities of certain CAM plants: basis for high values compared with C 3 and C4 plants. *New Phytologist*, 119: 183- 205.
- Nobel, P. S. 1999. *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*, 2nd Edn. Academic Press. San Diego, California, USA. 474 pp.

- Nobel, P. S., and E. De la Barrera. 2002a. High temperatures and net CO<sub>2</sub> uptake, growth, and stem damage for the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus*. *Biotropica*, 34:225-231.
- Nobel, P. S., and E. De la Barrera. 2002b. Stem water relations and net CO<sub>2</sub> uptake for a hemiepiphytic cactus during short-term drought. *Environmental and Experimental Botany*, 48:129- 137.
- Nobel, P. S., and E. de la Barrera. 2004. CO<sub>2</sub> uptake by the cultivated hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus*. *Annals of Applied Biology*, 144: 1–8.
- Ortiz H., Y. D. 1999. Pitahaya. Un Nuevo Cultivo para México. Limusa- IPN. México. 111 p.
- Ortiz H., Y. D., M. Livera M., M. T. Colinas L. y A. Carrillo S. 1999. Asimilación de CO<sub>2</sub> por la pitahaya *Hylocereus undatus* en condiciones de campo. *Agrociencia*, 33: 165-169.
- Osuna E., T. 2006. Validación de un huerto de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en la zona centro de Sinaloa: Fenología y determinación de madurez del fruto para cosecha. *In: Memoria Anual, Fundación Produce Sinaloa, A. C. Culiacán, Sinaloa, México.* pp: 60–63.
- Osuna E., T., Ibarra Z., M. E., Muy R., M. D., Valdez T., J. B., Villarreal R., M., y Hernández V. S. 2011. Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34 (1): 63-72.
- Prabhakar, B. N., S. Halepyati A., B. Desai K. and T. Pujari B. 2007. Growing degree days and photo thermal units accumulation of wheat (*Triticum aestivum* L. and *T. durum* Desf.) genotypes as influenced by dates of sowing. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 20(3): 594-595.
- Pushpakumara, D. K, P. N. Gunasena H., and M. Kariyawasam. 2005. Flowering and fruiting phenology pollination vectors and breeding system of Dragon Fruit (*Hylocereus* spp.). *Sri Lankan Journal of Agricultural Sciences*, 42: 81-91.
- Qadir, G., A. Cheema M., F. Hassan, M. Ashraf and M. Wahid A. 2007. Relationship of heat units accumulation and fatty acid composition in sunflower. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 44(1): 24-29.
- Qadir, G., S. Ahmad, F. Hassan and M.A. Cheema. 2006. Oil and fatty acid accumulation in sunflower as influenced by temperature variation. *Pakistan Journal of Botany*, 38(4): 1137-1147.
- Raveh, E., M. Gersani, and P. S. Nobel. 1995. CO<sub>2</sub> uptake and fluorescence responses for a shade-tolerant cactus *Hylocereus undatus* under current and doubled CO<sub>2</sub> concentrations. *Physiologia Plantarum*, 93: 505-511.
- Rebolledo M., A., A. L. del Ángel P., E. N. Becerra L., X. Rosas G. y R. Zetina L. 2009. Frutales Tropicales no tradicionales para Veracruz. Folleto Técnico No. 45. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 110 p.

- Riaza L., M. A. y J. Castellana R. 2012. Las observaciones fenológicas como evidencia del cambio climático. *In*: Memorias del Congreso Nacional del Medio Ambiente, España. 25 p.
- Rodríguez J., R. M., A. Benito C., A. Portela L. 2004. Meteorología y Climatología. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. 170 p.
- Rodríguez, C. A. 2010. Producción y comercialización de pitahaya en México. *Revista Claridades Agropecuarias*, 83: 3-22.
- Rojas L., P. C., M. Pérez G., M. T. Colinas L., J. Sahagún C. y E. Avitia G. 2008. Modelos matemáticos para estimar el crecimiento del fruto de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(3): 289-294.
- Romo G., J. R. y R. Arteaga R. 1989. Meteorología Agrícola. 2ª edición. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Irrigación. Chapingo, 301 pp.
- Ruiz C., J. A., C. A. Ortiz S., L. A. Aceves N., A. E. Becerril R. 1992. Caracterización fenológica del guayabo (*Psidium guajava* L.). *Revista Agrociencia Serie Agua- Suelo-Clima*, 3(2): 95-114.
- Russian L., T. 2006. Calidad del fruto en accesiones de naranja criolla y valencia en el sector Macanillas-Curimagua, Estado Falcón. *Agronomía Tropical*, 56(3): 415-432.
- Salazar, D., P. Melgarejo, R. Martínez, J. Martínez, F. Hernández, M. Buerguera. 2006. Phenological stages of the guava tree (*Psidium guajava* L.). *Scientia Horticulturae*, 108: 157-161.
- Sánchez T., J. 2006. Aclareo de frutos de pitaya (*Stenocereus griseus*) en la región Mixteca Baja Oaxaqueña. Tesis de Maestría. División de Ciencias Biológicas y de la Salud UAM-Iztapalapa. 87 p.
- Schabenberger, O., and F. J. Pierce. 2001. *Contemporary Statistical Models for the Plant and Soil Sciences*. CRC Press. 730 pp.
- SIAP. Servicio de Información Agrícola y Pecuaria. Producción agrícola por cultivo. (Consultado el 01 de septiembre de 2014). Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>
- Siller C., J., Muy R., D., Báez S., M., Araiza L., E. y Ireta O., A. 2009. Calidad poscosecha de cultivares de mango de maduración temprana, intermedia y tardía. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32 (1): 45-52.
- Soto, M., L. Gama, M. Gómez. 2001. Los Climas Cálidos Subhúmedos del Estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 3 (2): 31-40.
- Stintzing, F. C., A. Schieber and R. Carle. 2001. Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *Eur. Food Res. Technol*, 212: 396–407.

- Stintzing, F. C., A. Schieber and R. Carle. 2003. Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juice. *European Food Research and Technology*, 216 (4): 303–311.
- Tel-Zur, N., S. Abbo, D. Bar-Zvi, and Y. Mizrahi. 2004. Genetic relationship among *Hylocereus* and *Selenicereus* vine cacti (Cactaceae): evidence from hybridization and cytological studies. *Annals of Botany*, 94 (4): 527-534.
- Thornley J., H. M. and France, J. 2007. Growth functions. *In: Mathematical Models in Agriculture. Quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences*. 2nd Ed. Cromwell Press, Trowbridge. Pp. 136-171.
- Vaillant, F., A. Pérez, I. Davila, M. Dornier, M. Reynes. 2005. Colorant and antioxidant properties of red pitahaya (*Hylocereus* sp.). *Fruits*, 60: 1–7.
- Villalpando I., J. F. y Ruiz C., J. A. 1993. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Ed. Limusa, S. A. de C. V. México, D. F. 133 p.
- Weiss, J., A. Nerd and Y. Mizrahi. 1994. Flowering behavior and pollination requirements in climbing cacti with fruit crop potential. *Horticulture Science*, 29: 1478- 1492.
- Winter, K. and J. Smith A. 1996. An introduction to Crassulacean acid metabolism. Biochemical principles and ecological diversity. *In: Crassulacean Acid Metabolism*. K Winter and J. A. Smitpp (Eds.). Biochemistry, ecophysiology and evolution. Springer, Berlin Heidelberg, pp 1-13.
- Wu M., C. and C. S. Chen. 1997. Variation of sugar content in various parts of pitahaya fruit. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 110: 225–227.
- Wu, L. C., H. Hsiu W., C. Yun C., C. Chung, Y. Lin and J. A. Ho. 2006. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*, 95 (2):319-327.

## VII. APÉNDICE

**Cuadro A-1.** Registro diario de datos climáticos y acumulación de GDD para los dos ciclos de evaluación. Medellín, Ver. 2012-2014.

Primer ciclo (2012-2013)							Segundo ciclo (2013-2014)						
Fecha	Prec.	T. Max.	T. Min.	T. Media	GDD	GDD acumulados	Fecha	Prec.	T. Max.	T. Min.	T. Media	GDD	GDD acumulados
01-oct	5.2	29.3	22.2	25.75	18.75	18.8	01-oct	1.8	25.8	21.9	24.5	17.5	17.5
02-oct	0	31.7	21.1	26.4	19.4	38.2	02-oct	0.6	16.9	16.9	16.9	9.9	27.4
03-oct	0	31	21.5	26.25	19.25	57.4	03-oct	0.0	17.8	17.8	17.8	10.8	38.2
04-oct	0.8	31.5	22.3	26.9	19.9	77.3	04-oct	0.0	28.7	20.3	24.5	17.5	55.7
05-oct	4.4	30.4	21.9	26.15	19.15	96.5	05-oct	0.2	29.1	21.3	24.6	17.6	73.3
06-oct	0	31.1	21.8	26.45	19.45	115.9	06-oct	0.0	27.3	20.5	23.8	16.8	90.1
07-oct	0	30.8	21.6	26.2	19.2	135.1	07-oct	0.0	24.4	23.3	23.8	16.8	106.9
08-oct	0.4	30.3	23.2	26.75	19.75	154.9	08-oct	0.0	25.7	22.8	24.3	17.3	124.2
09-oct	0.2	31.1	22	26.55	19.55	174.4	09-oct	0.0	25.6	20.1	23.6	16.6	140.8
10-oct	2	31.8	22.7	27.25	20.25	194.7	10-oct	0.0	27.1	17.5	24.8	17.8	158.5
11-oct	19.6	30.9	22.4	26.65	19.65	214.3	11-oct	12.0	18.2	18.2	18.2	11.2	169.7
12-oct	15.2	27.8	22.3	25.05	18.05	232.4	12-oct	0.0	28.7	19.8	24.8	17.8	187.5
13-oct	34.6	29.8	22.5	26.15	19.15	251.5	13-oct	0.0	28.5	16.7	22.0	15.0	202.5
14-oct	0.2	32.4	20.9	26.65	19.65	271.2	14-oct	0.2	28.1	14.9	20.9	13.9	216.4
15-oct	0	31.2	19.5	25.35	18.35	289.5	15-oct	0.2	28.0	14.6	20.9	13.9	230.3
16-oct	0	32.3	20.1	26.2	19.2	308.7	16-oct	0.0	28.4	16.9	22.2	15.2	245.5
17-oct	0	31.6	19.3	25.45	18.45	327.2	17-oct	0.0	28.0	17.1	20.9	13.9	259.4
18-oct	0	33.2	20	26.6	19.6	346.8	18-oct	0.0	27.5	16.5	21.5	14.5	273.9
19-oct	0	32.3	22.7	27.5	20.5	367.3	19-oct	1.0	28.2	16.0	21.4	14.4	288.3
20-oct	0	32.3	22.4	27.35	20.35	387.6	20-oct	42.8	27.0	15.1	19.6	12.6	301.0
21-oct	5.6	31.6	21.5	26.55	19.55	407.2	21-oct	3.4	27.6	8.8	18.8	11.8	312.8
22-oct	0	30.3	21.1	25.7	18.7	425.9	22-oct	0.0	30.6	22.9	26.3	19.3	332.1
23-oct	0	31.2	21.6	26.4	19.4	445.3	23-oct	0.6	25.8	22.2	24.1	17.1	349.2
24-oct	0.4	31.7	20.2	25.95	18.95	464.2	24-oct	0.0	29.4	20.2	24.3	17.3	366.4
25-oct	0	32	18.6	25.3	18.3	482.5	25-oct	0.2	30.2	21.7	24.6	17.6	384.0
26-oct	0	30.7	20.2	25.45	18.45	501.0	26-oct	0.0	27.8	21.2	24.2	17.2	401.2
27-oct	0	30.9	20.9	25.9	18.9	519.9	27-oct	0.0	24.3	22.9	23.6	16.6	417.8
28-oct	1.2	27.4	20.3	23.85	16.85	536.7	28-oct	1.0	28.0	21.8	24.3	17.3	435.1
29-oct	0.2	28	21	24.5	17.5	554.2	29-oct	2.6	29.7	22.7	25.4	18.4	453.5
30-oct	28	26	20.7	23.35	16.35	570.6	30-oct	2.4	30.6	23.5	26.0	19.0	472.5
31-oct	0	30.1	20	25.05	18.05	588.6	31-oct	0.0	33.3	23.0	27.0	20.0	492.4
01-nov	0	30	20	25	18	606.6	01-nov	0.0	33.3	23.7	27.4	20.4	512.8
02-nov	0	27.8	18.9	23.35	16.35	623.0	02-nov	2.4	30.9	20.8	24.6	17.6	530.4
03-nov	0	28.8	19.2	24	17	640.0	03-nov	0.0	28.3	19.3	23.4	16.4	546.8
04-nov	0	28.7	20.6	24.65	17.65	657.6	04-nov	0.0	30.6	17.8	23.2	16.2	563.0
05-nov	2.2	27.5	20.7	24.1	17.1	674.7	05-nov	0.0	31.0	17.3	23.3	16.3	579.3
06-nov	0.2	29.2	20.1	24.65	17.65	692.4	06-nov	0.0	31.3	18.2	24.1	17.1	596.5
07-nov	2.8	30.5	20.5	25.5	18.5	710.9	07-nov	0.8	28.5	20.5	24.1	17.1	613.5
08-nov	2.6	29.1	19.1	24.1	17.1	728.0	08-nov	0.2	26.3	20.5	23.0	16.0	629.5
09-nov	0	29.8	16.8	23.3	16.3	744.3	09-nov	0.0	26.8	20.1	23.2	16.2	645.7
10-nov	0	29.7	17.3	23.5	16.5	760.8	10-nov	0.8	26.0	21.8	23.6	16.6	662.4
11-nov	0	30	15.4	22.7	15.7	776.5	11-nov	0.4	25.5	21.1	23.2	16.2	678.5
12-nov	1.6	28.5	18.8	23.65	16.65	793.1	12-nov	0.2	27.9	20.9	24.1	17.1	695.6
13-nov	0.2	27.7	19.7	23.7	16.7	809.8	13-nov	3.8	24.5	19.3	21.8	14.8	710.5
14-nov	0	27.8	19.1	23.45	16.45	826.3	14-nov	0.2	26.3	19.5	22.2	15.2	725.6
15-nov	0	28.6	18.3	23.45	16.45	842.7	15-nov	0.0	28.7	18.2	22.6	15.6	741.2
16-nov	0	28	17.6	22.8	15.8	858.5	16-nov	0.0	30.5	18.0	23.3	16.3	757.5
17-nov	11.2	28.6	20.4	24.5	17.5	876.0	17-nov	0.0	30.4	18.2	23.9	16.9	774.4
18-nov	2	26.1	19.8	22.95	15.95	892.0	18-nov	0.0	30.6	22.4	25.1	18.1	792.5
19-nov	0	27.8	19.3	23.55	16.55	908.5	19-nov	0.0	31.8	20.9	25.1	18.1	810.6
20-nov	0.2	27.9	18.4	23.15	16.15	924.7	20-nov	0.0	31.6	19.7	24.7	17.7	828.3
21-nov	0.4	28.6	20.3	24.45	17.45	942.1	21-nov	0.0	31.9	21.2	25.3	18.3	846.6
22-nov	0	28.8	18.7	23.75	16.75	958.9	22-nov	0.0	30.5	21.9	25.4	18.4	865.0
23-nov	0.6	28.2	19.3	23.75	16.75	975.6	23-nov	0.2	28.2	20.0	23.9	16.9	881.8
24-nov	2.4	25.8	19.2	22.5	15.5	991.1	24-nov	0.0	24.4	18.0	21.1	14.1	896.0
25-nov	3.8	26.9	17.6	22.25	15.25	1006.4	25-nov	0.0	24.2	16.9	20.6	13.6	909.5
26-nov	0	28.7	15.1	21.9	14.9	1021.3	26-nov	0.0	22.6	17.3	19.9	12.9	922.4
27-nov	0.4	28.6	15	21.8	14.8	1036.1	27-nov	0.0	19.2	15.3	17.3	10.3	932.8

28-nov	12.8	27.8	19.1	23.45	16.45	1052.5	28-nov	0.0	22.4	14.1	18.2	11.2	943.9
29-nov	0	27.9	17.1	22.5	15.5	1068.0	29-nov	0.0	24.2	14.6	19.7	12.7	956.6
30-nov	0	29	17.1	23.05	16.05	1084.1	30-nov	0.0	26.1	17.4	20.5	13.5	970.2
01-dic	0	28.8	17.9	23.35	16.35	1100.4	01-dic	0.0	27.7	15.2	20.8	13.8	984.0
02-dic	0	29.2	17.3	23.25	16.25	1116.7	02-dic	0.0	28.2	14.3	20.9	13.9	997.9
03-dic	0	30	16.4	23.2	16.2	1132.9	03-dic	0.0	29.9	13.4	22.1	15.1	1013.1
04-dic	0	29.4	17.6	23.5	16.5	1149.4	04-dic	0.0	31.9	18.5	24.3	17.3	1030.3
05-dic	0	29.7	19	24.35	17.35	1166.7	05-dic	0.0	31.6	19.6	24.3	17.3	1047.6
06-dic	5	29.2	18.4	23.8	16.8	1183.5	06-dic	0.0	30.5	18.4	23.8	16.8	1064.4
07-dic	0	29.3	17.3	23.3	16.3	1199.8	07-dic	0.0	25.4	19.6	22.0	15.0	1079.4
08-dic	0	30.2	16.1	23.15	16.15	1216.0	08-dic	0.0	28.4	17.9	21.4	14.4	1093.8
09-dic	0	30.6	19.4	25	18	1234.0	09-dic	0.0	28.8	16.3	22.5	15.5	1109.3
10-dic	0	31.5	16.9	24.2	17.2	1251.2	10-dic	0.0	28.7	19.0	22.8	15.8	1125.1
11-dic	0	26.4	20.1	23.25	16.25	1267.4	11-dic	0.0	25.6	18.9	21.5	14.5	1139.6
12-dic	0	27.5	20.1	23.8	16.8	1284.2	12-dic	0.4	25.0	16.9	20.5	13.5	1153.1
13-dic	3.2	26.2	19.8	23	16	1300.2	13-dic	0.0	26.5	18.3	21.4	14.4	1167.5
14-dic	0	29.7	19.3	24.5	17.5	1317.7	14-dic	0.0	31.4	16.4	23.3	16.3	1183.8
15-dic	0	30.5	18.4	24.45	17.45	1335.2	15-dic	0.0	22.9	17.9	21.0	14.0	1197.8
16-dic	0	30.1	18.9	24.5	17.5	1352.7	16-dic	0.0	22.4	15.6	19.0	12.0	1209.7
17-dic	0	29.7	21.7	25.7	18.7	1371.4	17-dic	0.0	24.3	17.8	20.5	13.5	1223.3
18-dic	0	31.1	21	26.05	19.05	1390.4	18-dic	0.0	24.8	18.0	20.7	13.7	1236.9
19-dic	0	30.7	18.6	24.65	17.65	1408.1	19-dic	0.0	29.7	15.9	22.1	15.1	1252.0
20-dic	0	30.2	17.9	24.05	17.05	1425.1	20-dic	0.0	30.5	17.4	22.8	15.8	1267.9
21-dic	0	22.1	17.3	19.7	12.7	1437.8	21-dic	0.0	32.0	21.1	24.4	17.4	1285.3
22-dic	0	22.6	16.7	19.65	12.65	1450.5	22-dic	0.0	33.7	19.3	25.0	18.0	1303.3
23-dic	0	28.3	13.6	20.95	13.95	1464.4	23-dic	0.0	25.7	18.0	22.7	15.7	1319.0
24-dic	0	29.1	11.7	20.4	13.4	1477.8	24-dic	0.0	21.0	17.7	19.3	12.3	1331.3
25-dic	0	31.3	13.7	22.5	15.5	1493.3	25-dic	0.0	25.8	16.4	20.0	13.0	1344.3
26-dic	0	25.3	19.5	22.4	15.4	1508.7	26-dic	0.2	26.0	18.3	21.0	14.0	1358.3
27-dic	0	27.9	18.8	23.35	16.35	1525.1	27-dic	0.0	25.7	18.8	21.5	14.5	1372.8
28-dic	0	29.6	16.4	23	16	1541.1	28-dic	0.0	26.1	17.4	20.9	13.9	1386.7
29-dic	0	27	18.5	22.75	15.75	1556.8	29-dic	0.0	25.9	18.7	21.8	14.8	1401.5
30-dic	0	22.3	18.6	20.45	13.45	1570.3	30-dic	0.0	25.4	20.4	22.0	15.0	1416.4
31-dic	0	29.4	15.7	22.55	15.55	1585.8	31-dic	0.0	25.8	15.3	20.5	13.5	1430.0
01-ene	0	30.4	15.4	22.9	15.9	1601.7	01-ene	0.0	25.3	18.2	20.9	13.9	1443.8
02-ene	0	25.3	18.7	22	15	1616.7	02-ene	0.0	26.8	16.1	21.1	14.1	1458.0
03-ene	0	24.8	18	21.4	14.4	1631.1	03-ene	0.0	22.7	17.0	19.4	12.4	1470.4
04-ene	0	23.2	16.1	19.65	12.65	1643.8	04-ene	0.0	26.9	11.9	18.7	11.7	1482.1
05-ene	0	22.3	18.7	20.5	13.5	1657.3	05-ene	0.0	29.9	12.2	20.2	13.2	1495.3
06-ene	0	21.9	18.1	20	13	1670.3	06-ene	0.0	23.4	17.5	20.1	13.1	1508.4
07-ene	0	23.7	17.2	20.45	13.45	1683.7	07-ene	0.0	20.0	15.4	17.1	10.1	1518.5
08-ene	0	28.8	15.2	22	15	1698.7	08-ene	0.0	25.5	11.7	17.8	10.8	1529.3
09-ene	0	30.6	17.3	23.95	16.95	1715.7	09-ene	0.0	27.2	11.5	19.1	12.1	1541.4
10-ene	0	28.4	20.8	24.6	17.6	1733.3	10-ene	0.0	30.3	14.9	21.7	14.7	1556.1
11-ene	0	31.1	19.8	25.45	18.45	1751.7	11-ene	0.0	28.8	15.0	21.5	14.5	1570.7
12-ene	0	31.4	19.8	25.6	18.6	1770.3	12-ene	0.0	29.2	18.4	23.3	16.3	1587.0
13-ene	0	32.7	21	26.85	19.85	1790.2	13-ene	0.0	31.4	17.6	23.2	16.2	1603.2
14-ene	0	26.7	17.7	22.2	15.2	1805.4	14-ene	0.0	27.3	15.4	21.6	14.6	1617.8
15-ene	0	29.2	17.3	23.25	16.25	1821.6	15-ene	0.0	26.4	14.2	18.9	11.9	1629.7
16-ene	0	22.5	14.9	18.7	11.7	1833.3	16-ene	0.0	24.1	12.7	18.0	11.0	1640.7
17-ene	0	19.6	15.3	17.45	10.45	1843.8	17-ene	0.0	20.9	9.5	14.6	7.6	1648.3
18-ene	0	24.2	13.7	18.95	11.95	1855.7	18-ene	0.0	22.0	9.3	15.1	8.1	1656.4
19-ene	0	25.7	12	18.85	11.85	1867.6	19-ene	0.0	23.0	9.2	15.4	8.4	1664.8
20-ene	0	26.1	15.5	20.8	13.8	1881.4	20-ene	0.0	23.6	10.1	16.4	9.4	1674.2
21-ene	0	26.5	17.8	22.15	15.15	1896.5	21-ene	0.0	25.3	9.8	16.9	9.9	1684.1
22-ene	0.6	23.6	18.7	21.15	14.15	1910.7	22-ene	0.0	21.8	10.1	14.8	7.8	1691.9
23-ene	3.4	27.2	18.6	22.9	15.9	1926.6	23-ene	0.0	24.8	7.9	16.3	9.3	1701.2
24-ene	0.2	26.9	18.1	22.5	15.5	1942.1	24-ene	1.0	20.5	11.1	15.9	8.9	1710.1
25-ene	0	28	12.8	20.4	13.4	1955.5	25-ene	0.0	17.9	11.2	13.6	6.6	1716.7
26-ene	0	29.1	13.8	21.45	14.45	1969.9	26-ene	0.0	25.9	10.3	17.3	10.3	1727.1
27-ene	0	30.4	14.4	22.4	15.4	1985.3	27-ene	0.0	28.9	11.5	19.4	12.4	1739.5
28-ene	0	30.8	18.6	24.7	17.7	2003.0	28-ene	0.0	23.4	15.0	19.0	12.0	1751.4
29-ene	0	31.7	18.5	25.1	18.1	2021.1	29-ene	0.0	19.9	14.5	16.9	9.9	1761.4
30-ene	0	32.5	18	25.25	18.25	2039.4	30-ene	0.0	25.0	13.9	17.2	10.2	1771.6
31-ene	0	21.7	18.3	20	13	2052.4	31-ene	0.0	29.6	9.5	19.3	12.3	1783.9
01-feb	0	25	17.2	21.1	14.1	2066.5	01-feb	0.0	30.2	14.7	20.9	13.9	1797.8
02-feb	0	27.3	17.1	22.2	15.2	2081.7	02-feb	0.2	32.5	14.4	22.5	15.5	1813.2
03-feb	4.4	22	19.4	20.7	13.7	2095.4	03-feb	0.0	26.7	19.7	22.3	15.3	1828.5
04-feb	0	29.2	16.1	22.65	15.65	2111.0	04-feb	0.0	29.9	17.9	22.7	15.7	1844.2
05-feb	0	28.4	17.3	22.85	15.85	2126.9	05-feb	0.0	26.5	18.7	22.3	15.3	1859.5
06-feb	0	32.1	19	25.55	18.55	2145.4	06-feb	0.0	26.5	16.9	20.7	13.7	1873.3
07-feb	0	32	20.4	26.2	19.2	2164.6	07-feb	0.0	24.4	15.4	19.2	12.2	1885.4

08-feb	0	29.1	20.3	24.7	17.7	2182.3	08-feb	0.0	22.6	15.5	19.3	12.3	1897.7
09-feb	0	31.7	17.6	24.65	17.65	2200.0	09-feb	0.0	28.2	14.2	19.9	12.9	1910.6
10-feb	0	32.8	17.8	25.3	18.3	2218.3	10-feb	0.0	31.9	15.1	22.5	15.5	1926.1
11-feb	0	34.7	17.7	26.2	19.2	2237.5	11-feb	0.0	30.0	19.1	23.7	16.7	1942.8
12-feb	0	35	17	26	19	2256.5	12-feb	0.0	21.8	17.7	19.6	12.6	1955.4
13-feb	0	30.5	15.7	23.1	16.1	2272.6	13-feb	0.0	23.2	15.4	19.1	12.1	1967.5
14-feb	0	25.8	20.9	23.35	16.35	2288.9	14-feb	0.0	29.6	14.1	21.2	14.2	1981.7
15-feb	0	26.3	20.3	23.3	16.3	2305.2	15-feb	0.0	30.2	19.2	23.0	16.0	1997.7
16-feb	0.4	23.2	17.2	20.2	13.2	2318.4	16-feb	0.0	31.4	15.7	23.3	16.3	2013.9
17-feb	0.8	25	16.4	20.7	13.7	2332.1	17-feb	0.0	31.7	15.7	23.5	16.5	2030.4
18-feb	0	28.3	12.4	20.35	13.35	2345.5	18-feb	0.0	30.8	18.3	23.4	16.4	2046.8
19-feb	0	28.3	13.3	20.8	13.8	2359.3	19-feb	0.0	31.3	16.9	23.6	16.6	2063.4
20-feb	0	31.6	16	23.8	16.8	2376.1	20-feb	0.0	33.8	17.8	24.8	17.8	2081.1
21-feb	0	34.6	16.3	25.45	18.45	2394.5	21-feb	0.0	29.0	19.5	23.5	16.5	2097.6
22-feb	0	35.6	17.1	26.35	19.35	2413.9	22-feb	0.0	32.3	18.3	24.4	17.4	2115.1
23-feb	0	30	17	23.5	16.5	2430.4	23-feb	0.0	32.7	18.4	24.2	17.2	2132.2
24-feb	0	33.4	21	27.2	20.2	2450.6	24-feb	0.0	30.3	22.8	25.3	18.3	2150.5
25-feb	0	37.2	18.1	27.65	20.65	2471.2	25-feb	0.0	32.2	21.2	25.7	18.7	2169.2
26-feb	0	25.8	20	22.9	15.9	2487.1	26-feb	0.0	34.7	17.8	24.7	17.7	2186.9
27-feb	0	28.3	19.2	23.75	16.75	2503.9	27-feb	0.6	24.9	19.0	22.0	15.0	2202.0
28-feb	1.2	24.9	20.3	22.6	15.6	2519.5	28-feb	0.0	29.7	19.4	22.9	15.9	2217.8
01-mar	0	20.8	17	18.9	11.9	2531.4	01-mar	0.0	31.0	17.7	24.1	17.1	2234.9
02-mar	0	25.6	12.3	18.95	11.95	2543.3	02-mar	0.0	34.0	20.1	25.7	18.7	2253.6
03-mar	0	26.8	8.1	17.45	10.45	2553.8	03-mar	0.0	32.1	18.2	24.3	17.3	2270.9
04-mar	0	28.9	7.9	18.4	11.4	2565.2	04-mar	0.0	24.3	17.8	20.5	13.5	2284.4
05-mar	0	32.5	9.3	20.9	13.9	2579.1	05-mar	0.0	22.6	17.8	20.4	13.4	2297.8
06-mar	0	28.3	18.1	23.2	16.2	2595.3	06-mar	0.0	24.0	19.4	21.2	14.2	2312.0
07-mar	0	29.1	15.9	22.5	15.5	2610.8	07-mar	0.0	28.4	19.3	22.7	15.7	2327.7
08-mar	0	29.9	16.4	23.15	16.15	2626.9	08-mar	0.0	30.5	20.9	24.2	17.2	2344.9
09-mar	0	31.9	17.6	24.75	17.75	2644.7	09-mar	0.0	30.4	18.8	23.7	16.7	2361.6
10-mar	0	34.8	18.3	26.55	19.55	2664.2	10-mar	0.0	27.4	20.0	22.8	15.8	2377.4
11-mar	0	24.6	19	21.8	14.8	2679.0	11-mar	0.0	29.5	19.5	23.0	16.0	2393.4
12-mar	0	24.6	18	21.3	14.3	2693.3	12-mar	0.0	29.6	18.8	23.6	16.6	2410.0
13-mar	0	23.9	18.4	21.15	14.15	2707.5	13-mar	0.0	27.4	19.0	22.4	15.4	2425.5
14-mar	0	26.1	18.2	22.15	15.15	2722.6	14-mar	0.0	30.5	15.6	22.7	15.7	2441.2
15-mar	4.8	22.1	17.3	19.7	12.7	2735.3	15-mar	0.0	33.3	15.5	23.7	16.7	2457.9
16-mar	0	29.5	15.6	22.55	15.55	2750.9	16-mar	0.0	38.1	19.2	25.7	18.7	2476.5
17-mar	0	37	15.7	26.35	19.35	2770.2	17-mar	0.0	22.9	15.7	20.5	13.5	2490.0
18-mar	0	39.2	19.5	29.35	22.35	2792.6	18-mar	0.0	29.1	10.5	19.5	12.5	2502.5
19-mar	0	38	17.5	27.75	20.75	2813.3	19-mar	0.0	32.8	18.9	24.6	17.6	2520.1
20-mar	0	36.8	19	27.9	20.9	2834.2	20-mar	0.0	30.2	22.5	25.4	18.4	2538.5
21-mar	0	30.6	22.1	26.35	19.35	2853.6	21-mar	0.0	33.7	19.3	26.0	19.0	2557.5
22-mar	0	36.1	19	27.55	20.55	2874.1	22-mar	0.0	34.3	19.8	25.8	18.8	2576.4
23-mar	0	41.6	20.2	30.9	23.9	2898.0	23-mar	0.0	37.3	21.7	27.8	20.8	2597.2
24-mar	0	35.6	21.2	28.4	21.4	2919.4	24-mar	0.0	31.9	23.8	26.4	19.4	2616.6
25-mar	0.2	23.9	19.9	21.9	14.9	2934.3	25-mar	0.0	26.0	22.7	24.4	17.4	2634.0
26-mar	0.8	21.1	17.7	19.4	12.4	2946.7	26-mar	0.0	30.7	21.1	24.6	17.6	2651.5
27-mar	0.6	26.1	17.3	21.7	14.7	2961.4	27-mar	0.0	36.3	20.7	26.4	19.4	2670.9
28-mar	0	29.2	17	23.1	16.1	2977.5	28-mar	0.0	38.7	20.5	27.5	20.5	2691.4
29-mar	0	29	18.1	23.55	16.55	2994.1	29-mar	0.0	32.0	19.7	25.5	18.5	2710.0
30-mar	0	30.8	17.7	24.25	17.25	3011.3	30-mar	0.0	28.7	21.1	24.8	17.8	2727.8
31-mar	0	32.8	17.4	25.1	18.1	3029.4	31-mar	0.0	33.7	18.1	25.5	18.5	2746.3
01-abr	0	31.6	18.5	25.05	18.05	3047.5	01-abr	0.0	36.2	20.6	27.3	20.3	2766.6
02-abr	0	34.8	22.1	28.45	21.45	3068.9	02-abr	0.0	36.7	21.4	27.4	20.4	2787.0
03-abr	0	37.4	21.3	29.35	22.35	3091.3	03-abr	0.0	37.7	20.7	27.8	20.8	2807.7
04-abr	0	28.1	21.7	24.9	17.9	3109.2	04-abr	0.0	38.2	22.3	28.1	21.1	2828.8
05-abr	0	27.9	16.7	22.3	15.3	3124.5	05-abr	0.0	32.6	24.5	27.0	20.0	2848.9
06-abr	0	30.4	15	22.7	15.7	3140.2	06-abr	0.0	37.6	21.8	28.4	21.4	2870.2
07-abr	0	30.4	15.3	22.85	15.85	3156.0	07-abr	0.0	33.1	22.7	27.2	20.2	2890.5
08-abr	0	35.4	18.3	26.85	19.85	3175.9	08-abr	0.0	31.6	19.8	25.5	18.5	2909.0
09-abr	0	38.4	20.5	29.45	22.45	3198.3	09-abr	0.0	29.2	15.4	22.1	15.1	2924.1
10-abr	0	39.1	22.2	30.65	23.65	3222.0	10-abr	0.0	29.4	12.3	21.0	14.0	2938.1
11-abr	0	32.6	20.6	26.6	19.6	3241.6	11-abr	0.0	31.5	15.0	22.5	15.5	2953.5
12-abr	0	27	22.4	24.7	17.7	3259.3	12-abr	0.0	33.1	17.8	25.1	18.1	2971.6
13-abr	0	32.9	22.3	27.6	20.6	3279.9	13-abr	0.0	36.1	19.6	26.5	19.5	2991.2
14-abr	0	32.1	21.4	26.75	19.75	3299.6	14-abr	0.0	39.1	20.9	28.0	21.0	3012.2
15-abr	0	38	19.2	28.6	21.6	3321.2	15-abr	0.0	27.4	19.8	22.7	15.7	3027.9
16-abr	0	38.4	19	28.7	21.7	3342.9	16-abr	0.0	28.5	14.3	21.6	14.6	3042.4
17-abr	0	38	20.4	29.2	22.2	3365.1	17-abr	0.0	29.5	19.1	24.0	17.0	3059.4
18-abr	0	39	20.3	29.65	22.65	3387.8	18-abr	3.2	31.8	20.3	25.3	18.3	3077.7
19-abr	0	29.4	21.1	25.25	18.25	3406.0	19-abr	0.0	30.1	22.5	25.3	18.3	3096.0
20-abr	0	25.2	19.8	22.5	15.5	3421.5	20-abr	0.0	31.4	21.7	25.3	18.3	3114.3

21-abr	0	29.8	19.6	24.7	17.7	3439.2	21-abr	0.0	32.6	20.4	25.7	18.7	3133.0
22-abr	0	30.7	20.7	25.7	18.7	3457.9	22-abr	0.0	31.6	21.8	25.6	18.6	3151.6
23-abr	0	33.6	20.2	26.9	19.9	3477.8	23-abr	0.0	33.5	21.4	26.6	19.6	3171.3
24-abr	0	34.6	22.6	28.6	21.6	3499.4	24-abr	0.0	35.9	21.8	27.8	20.8	3192.1
25-abr	0	30.3	22.2	26.25	19.25	3518.7	25-abr	0.0	34.0	23.5	27.9	20.9	3213.0
26-abr	0	33	19.8	26.4	19.4	3538.1	26-abr	0.0	37.0	23.8	28.8	21.8	3234.7
27-abr	0	33.6	20	26.8	19.8	3557.9	27-abr	0.0	40.3	23.6	29.8	22.8	3257.6
28-abr	0	33.2	22.5	27.85	20.85	3578.7	28-abr	0.0	42.3	24.3	31.4	24.4	3282.0
29-abr	0	32.2	24.2	28.2	21.2	3599.9	29-abr	0.0	39.6	25.4	30.9	23.9	3305.9
30-abr	0	33.4	22.1	27.75	20.75	3620.7	30-abr	0.0	33.6	23.9	27.7	20.7	3326.6
01-may	0	35.1	22.2	28.65	21.65	3642.3	01-may	0.0	27.3	23.7	24.9	17.9	3344.5
02-may	0	35.3	22.7	29	22	3664.3	02-may	0.6	26.2	19.6	23.5	16.5	3360.9
03-may	1	26.6	20.2	23.4	16.4	3680.7	03-may	0.0	26.7	22.3	23.8	16.8	3377.7
04-may	0	24.5	16.8	20.65	13.65	3694.4	04-may	0.0	30.3	19.2	24.3	17.3	3395.0
05-may	0	28.7	18.5	23.6	16.6	3711.0	05-may	0.0	31.5	17.8	23.9	16.9	3411.9
06-may	0	30.5	20.9	25.7	18.7	3729.7	06-may	0.0	33.2	16.3	24.8	17.8	3429.8
07-may	0	28.2	21.8	25	18	3747.7	07-may	0.0	34.6	21.1	27.3	20.3	3450.0
08-may	0	32.6	22	27.3	20.3	3768.0	08-may	0.4	37.3	24.0	28.9	21.9	3471.9
09-may	0	36.2	21.5	28.85	21.85	3789.8	09-may	1.4	35.4	22.8	27.7	20.7	3492.6
10-may	0	39.5	22.1	30.8	23.8	3813.6	10-may	0.0	34.5	23.1	28.4	21.4	3514.0
11-may	0	34.7	20	27.35	20.35	3834.0	11-may	0.0	36.8	24.4	28.7	21.7	3535.7
12-may	0	33.4	23.6	28.5	21.5	3855.5	12-may	0.0	35.9	24.1	28.8	21.8	3557.5
13-may	0	32.4	24.9	28.65	21.65	3877.1	13-may	0.4	35.1	25.1	29.2	22.2	3579.7
14-may	0	31.8	22.7	27.25	20.25	3897.4	14-may	13.4	28.7	22.3	24.6	17.6	3597.3
15-may	0	34.1	19.8	26.95	19.95	3917.3	15-may	0.0	27.9	22.4	24.5	17.5	3614.8
16-may	0	36.5	21	28.75	21.75	3939.1	16-may	0.0	27.9	19.5	23.5	16.5	3631.3
17-may	0	38.1	21	29.55	22.55	3961.6	17-may	0.0	30.4	15.8	23.2	16.2	3647.5
18-may	0	38	21.9	29.95	22.95	3984.6	18-may	0.0	31.5	19.4	24.2	17.2	3664.7
19-may	0	38.4	22.7	30.55	23.55	4008.1	19-may	0.0	31.5	18.6	25.0	18.0	3682.7
20-may	0	38.8	22.7	30.75	23.75	4031.9	20-may	0.0	33.7	21.9	26.8	19.8	3702.4
21-may	0	38.9	22.6	30.75	23.75	4055.6	21-may	0.0	32.2	24.0	27.5	20.5	3722.9
22-may	0	38.1	22.5	30.3	23.3	4078.9	22-may	10.2	30.9	24.0	26.5	19.5	3742.3
23-may	0.00	36.30	25.00	30.65	23.65	4102.6	23-may	0.2	31.7	23.7	26.8	19.8	3762.2
24-may	0.00	34.50	24.90	29.7	22.7	4125.3	24-may	6.6	30.4	23.9	26.1	19.1	3781.3
25-may	19.80	32.70	22.80	27.75	20.75	4146.0	25-may	0.0	33.2	24.6	27.6	20.6	3801.9
26-may	14.60	27.70	22.20	24.95	17.95	4164.0	26-may	0.0	32.7	24.8	27.8	20.8	3822.7
27-may	1.00	34.30	22.80	28.55	21.55	4185.5	27-may	0.0	34.2	24.4	28.3	21.3	3844.0
28-may	0.00	33.40	23.50	28.45	21.45	4207.0	28-may	0.0	35.9	25.4	28.5	21.5	3865.5
29-may	0.00	34.50	22.10	28.3	21.3	4228.3	29-may	0.4	34.4	23.8	28.0	21.0	3886.6
30-may	0.00	34.80	24.30	29.55	22.55	4250.8	30-may	0.0	32.6	24.4	27.8	20.8	3907.4
31-may	1.00	31.60	25.10	28.35	21.35	4272.2	31-may	0.0	31.8	24.7	27.6	20.6	3928.0
01-jun	16.60	31.80	23.00	27.4	20.4	4292.6	01-jun	0.0	34.4	23.0	27.8	20.8	3948.8
02-jun	14.20	31.00	23.30	27.15	20.15	4312.7	02-jun	0.0	32.9	22.2	27.4	20.4	3969.2
03-jun	32.80	31.30	23.10	27.2	20.2	4332.9	03-jun	12.4	29.7	23.2	25.9	18.9	3988.1
04-jun	0.20	33.50	23.70	28.6	21.6	4354.5	04-jun	1.6	29.9	23.4	26.0	19.0	4007.1
05-jun	0.00	33.90	22.90	28.4	21.4	4375.9	05-jun	0.4	29.9	23.9	26.5	19.5	4026.6
06-jun	0.00	35.50	22.20	28.85	21.85	4397.8	06-jun	52.2	31.6	23.4	26.2	19.2	4045.9
07-jun	0.00	34.10	23.70	28.9	21.9	4419.7	07-jun	88.6	26.3	23.6	24.3	17.3	4063.1
08-jun	0.00	34.40	25.00	29.7	22.7	4442.4	08-jun	10.0	31.4	23.4	25.7	18.7	4081.8
09-jun	0.00	34.80	23.50	29.15	22.15	4464.5	09-jun	2.8	31.9	22.8	27.1	20.1	4102.0
10-jun	0.00	33.40	24.70	29.05	22.05	4486.6	10-jun	1.8	32.9	24.1	27.6	20.6	4122.5
11-jun	2.20	31.10	23.60	27.35	20.35	4506.9	11-jun	9.4	34.2	24.7	27.9	20.9	4143.4
12-jun	0.00	33.60	23.70	28.65	21.65	4528.6	12-jun	0.4	33.3	23.1	28.1	21.1	4164.5
13-jun	0.00	34.60	24.00	29.3	22.3	4550.9	13-jun	0.0	33.7	25.0	28.4	21.4	4185.9
14-jun	0.00	34.50	24.30	29.4	22.4	4573.3	14-jun	0.0	32.3	24.3	27.9	20.9	4206.8
15-jun	0.00	35.00	24.00	29.5	22.5	4595.8	15-jun	13.8	33.0	23.7	28.1	21.1	4227.9
16-jun	0.00	34.40	23.90	29.15	22.15	4617.9	16-jun	2.2	31.7	23.9	27.5	20.5	4248.4
17-jun	0.00	34.30	23.30	28.8	21.8	4639.7	17-jun	9.4	31.9	22.6	27.4	20.4	4268.8
18-jun	0.00	33.10	22.40	27.75	20.75	4660.5	18-jun	0.2	32.5	24.7	27.9	20.9	4289.7
19-jun	1.60	31.60	24.10	27.85	20.85	4681.3	19-jun	0.0	32.2	24.8	28.0	21.0	4310.7
20-jun	30.60	27.10	23.60	25.35	18.35	4699.7	20-jun	13.2	31.8	24.2	27.3	20.3	4330.9
21-jun	77.60	27.80	22.80	25.3	18.3	4718.0	21-jun	8.4	31.0	23.2	26.7	19.7	4350.6
22-jun	9.00	30.90	21.50	26.2	19.2	4737.2	22-jun	25.0	31.9	23.2	27.0	20.0	4370.5
23-jun	8.00	31.40	21.80	26.6	19.6	4756.8	23-jun	0.0	33.9	24.7	28.3	21.3	4391.9
24-jun	9.00	32.40	23.00	27.7	20.7	4777.5	24-jun	0.0	32.8	24.8	28.3	21.3	4413.2
25-jun	0.00	34.60	24.00	29.3	22.3	4799.8	25-jun	26.8	31.1	21.8	26.5	19.5	4432.7
26-jun	0.00	32.90	24.40	28.65	21.65	4821.4	26-jun	1.2	32.7	22.2	26.9	19.9	4452.6
27-jun	0.00	33.60	24.20	28.9	21.9	4843.3	27-jun	0.0	34.4	23.0	28.2	21.2	4473.8
28-jun	2.00	33.50	24.00	28.75	21.75	4865.1	28-jun	13.8	33.9	22.4	27.6	20.6	4494.4
29-jun	0.00	34.00	22.60	28.3	21.3	4886.4	29-jun	3.2	32.1	24.1	27.1	20.1	4514.6
30-jun	0.00	34.80	22.50	28.65	21.65	4908.0	30-jun	1.2	29.7	23.3	26.3	19.3	4533.8
01-jul	0.00	33.70	22.60	28.15	21.15	4929.2	01-jul	0.6	29.2	23.6	25.8	18.8	4552.6

02-jul	0.00	32.90	22.50	27.7	20.7	4949.9	02-jul	25.2	32.8	23.7	26.4	19.4	4572.0
03-jul	27.80	32.30	21.90	27.1	20.1	4970.0	03-jul	17.2	32.0	21.7	25.6	18.6	4590.5
04-jul	24.60	31.90	21.40	26.65	19.65	4989.6	04-jul	24.6	29.4	21.5	24.7	17.7	4608.2
05-jul	15.20	32.80	22.70	27.75	20.75	5010.4	05-jul	15.2	29.4	20.7	24.0	17.0	4625.2
06-jul	13.20	31.20	22.60	26.9	19.9	5030.3	06-jul	7.0	29.5	21.8	25.4	18.4	4643.6
07-jul	0.00	30.70	22.40	26.55	19.55	5049.8	07-jul	0.0	31.2	23.2	26.5	19.5	4663.1
08-jul	0.00	32.70	24.00	28.35	21.35	5071.2	08-jul	0.0	32.0	23.5	27.2	20.2	4683.3
09-jul	0.80	31.80	22.20	27	20	5091.2	09-jul	0.0	33.1	22.7	27.3	20.3	4703.6
10-jul	0.20	32.70	22.00	27.35	20.35	5111.5	10-jul	0.0	33.6	24.5	27.6	20.6	4724.2
11-jul	16.20	31.40	21.30	26.35	19.35	5130.9	11-jul	0.2	31.7	22.8	26.6	19.6	4743.8
12-jul	25.80	31.60	22.40	27	20	5150.9	12-jul	54.6	30.0	20.7	24.5	17.5	4761.4
13-jul	4.20	31.80	23.10	27.45	20.45	5171.3	13-jul	0.0	30.9	20.9	25.6	18.6	4779.9
14-jul	1.20	32.70	23.20	27.95	20.95	5192.3	14-jul	24.2	32.1	20.9	26.2	19.2	4799.1
15-jul	0.00	32.90	23.10	28	21	5213.3	15-jul	0.0	31.3	22.2	26.5	19.5	4818.6
16-jul	0.00	33.00	22.60	27.8	20.8	5234.1	16-jul	0.0	33.1	23.0	27.4	20.4	4839.0
17-jul	0.40	31.50	23.30	27.4	20.4	5254.5	17-jul	0.0	32.4	24.3	27.7	20.7	4859.7
18-jul	25.80	30.30	22.70	26.5	19.5	5274.0	18-jul	0.0	35.7	25.6	29.8	22.8	4882.4
19-jul	3.80	31.40	21.70	26.55	19.55	5293.5	19-jul	0.0	33.5	23.3	28.8	21.8	4904.3
20-jul	8.40	33.50	23.60	28.55	21.55	5315.1	20-jul	0.0	33.8	24.7	28.6	21.6	4925.9
21-jul	0.00	32.80	23.00	27.9	20.9	5336.0	21-jul	0.0	34.4	23.1	28.4	21.4	4947.3
22-jul	0.00	33.10	24.20	28.65	21.65	5357.6	22-jul	0.0	33.7	22.6	28.1	21.1	4968.4
23-jul	0.00	32.90	24.10	28.5	21.5	5379.1	23-jul	0.0	32.6	23.2	27.9	20.9	4989.3
24-jul	0.00	32.70	23.20	27.95	20.95	5400.1	24-jul	11.2	32.3	21.1	26.7	19.7	5213.9
25-jul	1.20	33.40	23.00	28.2	21.2	5421.3	25-jul	0.0	32.7	19.1	25.9	18.9	5232.8
26-jul	0.00	33.70	22.30	28	21	5442.3	26-jul	0.0	33.2	19.5	26.4	19.4	5252.2
27-jul	0.00	35.10	22.10	28.6	21.6	5463.9	27-jul	0.0	32.4	20.7	26.6	19.6	5271.7
28-jul	0.00	34.90	23.40	29.15	22.15	5486.0	28-jul	0.0	32.4	19.9	26.2	19.2	5290.9
29-jul	0.00	34.70	23.80	29.25	22.25	5508.3	29-jul	0.0	32.8	18.0	25.4	18.4	5309.3
30-jul	0.00	33.60	22.80	28.2	21.2	5529.5	30-jul	1.2	33.3	21.0	27.2	20.2	5329.4
31-jul	0.00	32.7	22.6	27.65	20.65	5550.1	31-jul	0.0	33.8	19.5	26.7	19.7	5349.1
01-ago	0.00	29.8	15.7	22.75	15.75	5565.9	01-ago	0.0	33.6	19.6	26.6	19.6	5368.7
02-ago	0.00	30.3	15	22.65	15.65	5581.5	02-ago	0.0	33.3	20.1	26.7	19.7	5388.4
03-ago	0.00	29.6	15.5	22.55	15.55	5597.1	03-ago	4.6	32.8	19.8	26.3	19.3	5407.7
04-ago	0.00	33.90	27.00	30.45	23.45	5620.5	04-ago	0.0	32.9	19.0	26.0	19.0	5426.6
05-ago	28.00	32.40	21.40	26.9	19.9	5640.4	05-ago	0.0	33.0	18.6	25.8	18.8	5445.4
06-ago	0.00	32.70	23.90	28.3	21.3	5661.7	06-ago	0.0	32.0	20.0	26.0	19.0	5464.4
07-ago	0.00	33.20	22.90	28.05	21.05	5682.8	07-ago	0.0	33.4	24.7	29.1	22.1	5486.5
08-ago	0.00	32.90	23.00	27.95	20.95	5703.7	08-ago	0.0	35.0	22.2	28.6	21.6	5508.1
09-ago	124.00	28.20	22.80	25.5	18.5	5722.2	09-ago	11.4	35.0	24.4	29.7	22.7	5530.8
10-ago	0.80	30.30	23.10	26.7	19.7	5741.9	10-ago	1.8	33.2	23.7	28.5	21.5	5552.2
11-ago	3.80	28.80	23.60	26.2	19.2	5761.1	11-ago	5.8	31.3	23.1	27.2	20.2	5572.4
12-ago	2.20	31.00	22.60	26.8	19.8	5780.9	12-ago	0.8	32.4	22.6	27.5	20.5	5592.9
13-ago	15.60	30.60	23.00	26.8	19.8	5800.7	13-ago	0.0	32.8	22.4	27.6	20.6	5613.5
14-ago	0.00	33.30	24.10	28.7	21.7	5822.4	14-ago	0.0	33.2	20.8	27.0	20.0	5633.5
15-ago	0.20	32.70	22.30	27.5	20.5	5842.9	15-ago	0.0	34.7	24.1	29.4	22.4	5655.9
16-ago	0.20	32.30	22.90	27.6	20.6	5863.5	16-ago	0.4	32.8	23.7	28.3	21.3	5677.2
17-ago	32.00	30.80	23.30	27.05	20.05	5883.6	17-ago	0.0	33.4	22.8	28.1	21.1	5698.3
18-ago	82.60	30.10	23.00	26.55	19.55	5903.1	18-ago	0.0	32.4	23.5	28.0	21.0	5719.2
19-ago	0.00	33.60	23.80	28.7	21.7	5924.8	19-ago	0.0	34.2	23.2	28.7	21.7	5740.9
20-ago	0.00	33.30	22.00	27.65	20.65	5945.5	20-ago	0.0	33.1	24.0	28.6	21.6	5762.5
21-ago	0.00	31.40	24.20	27.8	20.8	5966.3	21-ago	9.0	32.4	21.6	27.0	20.0	5782.5
22-ago	43.40	32.20	21.10	26.65	19.65	5985.9	22-ago	16.4	32.8	21.4	27.1	20.1	5802.6
23-ago	0.40	32.20	22.10	27.15	20.15	6006.1	23-ago	2.8	32.1	23.6	27.9	20.9	5823.4
24-ago	4.60	32.10	23.70	27.9	20.9	6027.0	24-ago	0.0	33.1	21.1	27.1	20.1	5843.5
25-ago	9.20	30.90	22.70	26.8	19.8	6046.8	25-ago	0.0	33.4	22.1	27.8	20.8	5864.3
26-ago	0.00	32.80	23.10	27.95	20.95	6067.7	26-ago	0.0	33.9	22.1	28.0	21.0	5885.3
27-ago	0.20	31.90	22.80	27.35	20.35	6088.1	27-ago	0.0	33.9	22.4	28.2	21.2	5906.4
28-ago	0.00	34.00	22.90	28.45	21.45	6109.5	28-ago	0.0	35.3	22.4	28.9	21.9	5928.3
29-ago	0.00	34.40	22.20	28.3	21.3	6130.8	29-ago	0.0	35.5	23.0	29.3	22.3	5950.5
30-ago	0.00	35.00	22.80	28.9	21.9	6152.7	30-ago	0.0	33.7	23.2	28.5	21.5	5972.0
31-ago	0.40	32.80	23.90	28.35	21.35	6174.1	31-ago	4.6	32.0	24.0	28.0	21.0	5993.0
01-sep	14.8	29.2	15	22.1	15.1	6189.2							
02-sep	9.2	27.8	11.5	19.65	12.65	6201.8							
03-sep	2.6	26.7	15.4	21.05	14.05	6215.9							
04-sep	1.4	27.1	16	21.55	14.55	6230.4							
05-sep	12.4	27.5	15	21.25	14.25	6244.7							
06-sep	4.8	26.7	11.1	18.9	11.9	6256.6							
07-sep	10.2	26.1	13.1	19.6	12.6	6269.2							
08-sep	0.2	23	11	17	10	6279.2							
09-sep	14.6	27.8	13.9	20.85	13.85	6293.0							
10-sep	6.4	28.7	11.2	19.95	12.95	6306.0							
11-sep	4.80	30.00	24.70	27.35	20.35	6326.3							

12-sep	23.40	30.10	23.60	26.85	19.85	6346.2
13-sep	19.40	26.40	23.90	25.15	18.15	6364.3
14-sep	0.00	30.40	23.70	27.05	20.05	6384.4
15-sep	0.00	29.80	23.40	26.6	19.6	6404.0
16-sep	0.40	28.10	24.70	26.4	19.4	6423.4
17-sep	8.60	28.20	24.60	26.4	19.4	6442.8
18-sep	12.80	32.00	23.20	27.6	20.6	6463.4
19-sep	1.20	31.10	24.40	27.75	20.75	6484.1
20-sep	17.4	28.2	11.5	19.85	12.85	6497.0
21-sep	0	30.3	15.4	22.85	15.85	6512.8
22-sep	0	29.8	16.5	23.15	16.15	6529.0
23-sep	0	28	18.1	23.05	16.05	6545.0
24-sep	1	27.1	15.6	21.35	14.35	6559.4
25-sep	2.8	27.7	15.8	21.75	14.75	6574.1
26-sep	0.2	27.8	15.5	21.65	14.65	6588.8
27-sep	3.6	29.5	15.8	22.65	15.65	6604.4
28-sep	0	29.2	16.2	22.7	15.7	6620.1
29-sep	0	29.4	16.6	23	16	6636.1
30-sep	0	29.8	17.5	23.65	16.65	6652.8

---

**Cuadro A-2.** Resultados del Análisis de varianza de las variables consideradas en todo el estudio.

Variable	Ciclo	Flujo	Fase/Etapa/ Variedad	Media	CME <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	CV (%) <sup>3</sup>	DMSH <sup>4</sup>	Pr>F <sup>5</sup>
Fecha de registro de fase	2013	2	Brotación	22-jun	0.37	0.14	0.35	0.7	0.1600
			Antesis	11-jul	0.18	0.15	0.22	0.5	0.1348
			Amarre	17-jul	0.18	0.15	0.21	0.5	0.1348
		Madurez	07-ago	1.22	0.40	0.50	1.3	0.5031	
		3	Antesis	08-ago	0.19	0.05	0.20	0.5	0.5406
			Amarre	13-ago	0.19	0.05	0.19	0.5	0.1936
	Madurez		04-sep	0.26	0.90	0.21	0.6	0.0001	
	2014	2	Antesis	25-jun	0.66	0.07	0.46	0.9	0.4626
			Amarre	30-jun	0.66	0.07	0.45	0.9	0.3190
Madurez			21-jul	0.24	0.76	0.24	0.5	0.0001	
Duración en días de las etapas fenológicas	2013	2	Brotación- Antesis	19	0.21	0.05	2.40	0.5	0.5038
			Antesis-Amarre	5	0.18	0.43	8.34	0.5	0.0009
			Antesis-Madurez	27	1.35	0.28	4.31	1.4	0.0162
			Brotación-Madurez	46	1.71	0.21	2.85	1.5	0.0525
		3	Brotación- Antesis	17	0.19	0.05	2.53	0.5	0.5406
			Antesis-Amarre	5	0.22	0.06	9.12	0.6	0.5157
	2014	2	Antesis-Madurez	27	0.45	0.82	2.48	0.8	0.0001
			Brotación-Madurez	44	0.26	0.90	1.15	0.6	0.0001
			Brotación- Antesis	17	0.21	0.62	2.67	0.5	0.0003
		2	Antesis-Amarre	5	0.18	0.20	8.45	0.6	0.1722
			Antesis-Madurez	27	0.50	0.13	2.66	0.8	2.6556
			Brotación-Madurez	44	0.24	0.76	1.12	0.5	0.0001
GDD acumulados en cada fase	2013	2	Brotación	4745	146.88	0.13	0.26	14.3	0.1641
			Antesis	5136	71.56	0.15	0.16	10.0	0.1647
			Amarre	5239	74.45	0.15	0.16	10.2	0.1348
			Madurez	5686	500.30	0.41	0.39	26.4	0.0015
		3	Antesis	5708	65.10	0.05	0.14	10.1	0.5406
			Amarre	5805	81.04	0.02	0.16	11.3	0.7942
	2014	2	Madurez	6234	45.94	0.91	0.11	8.5	0.0001
			Antesis	4603	93.80	0.60	0.21	10.7	0.0005
			Amarre	4707	89.42	0.60	0.20	10.5	0.0004
		2	Madurez	5144	111.75	0.76	0.21	11.7	0.0001
			Brotación- Antesis	391	81.98	0.05	2.32	10.7	0.5157
			Antesis-Amarre	105	71.56	0.44	8.07	10.0	0.0007
2013	2	Antesis-Madurez	551	553.15	0.29	4.27	27.8	0.0142	
		Brotación-Madurez	942	700.07	0.22	2.81	31.3	0.0468	
		Brotación- Antesis	350	65.10	0.05	2.30	10.1	0.5406	
		Antesis-Amarre	103	65.10	0.59	7.85	10.1	0.0001	
	3	Antesis-Madurez	526	110.30	0.77	2.00	13.2	0.0001	
		Brotación-Madurez	877	45.75	0.91	0.77	8.5	0.0001	
2014	2	Brotación- Antesis	363	93.92	0.60	2.67	10.7	0.0005	
		Antesis-Amarre	104	0.07	0.06	0.26	0.7	0.6583	
		Antesis-Madurez	541	225.60	0.20	2.77	36.1	2.7740	
		Brotación-Madurez	905	111.96	0.78	1.17	25.4	0.0001	
Comparación del RT total entre flujos	2013	2 vs 3	Ana	914	542.57	0.71	2.55	22.3	0.0001
			Juana	887	295.02	0.85	1.94	21.0	0.0001
			Carlos	922	291.71	0.77	1.85	15.8	0.0001
Comparación del RT total entre ciclos	2013 vs 2014	2 y 3	Ana	913	1769.05	0.00	4.61	65.1	0.8304
			Juana	881	1209.84	0.03	3.95	27.6	0.3937
			Carlos	910	1234.63	0.17	3.86	25.3	0.0150
Grados Brix	2013 vs 2014	2 y 3	a nivel de variedades	12.3	2.12	0.79	11.89	2.2	0.0035
	2013-2014	2 vs 3	a nivel de flujos	12.3	2.12	0.79	11.89	3.1	0.0005
Acidez	2013 vs 2014	2 y 3	a nivel de variedades	0.4	0.00	0.97	13.56	0.1	0.0001
	2013-2014	2 vs 3	a nivel de flujos	0.4	0.00	0.97	13.56	0.1	0.0001
Relación Grados Brix/Acidez	2013	2	a nivel de variedades	26.3	23.61	0.89	18.51	8.2	0.0001
		3	a nivel de variedades	67.2	62.63	0.90	11.78	19.8	0.0010
	2014	2	a nivel de variedades	57.9	245.81	0.29	27.08	35.5	0.2694
		3	a nivel de variedades	18.5	8.89	0.39	16.14	6.8	0.1874

<sup>1</sup>CME=Cuadrado medio del error; <sup>2</sup>R<sup>2</sup>= Coeficiente de determinación; <sup>3</sup>CV=Coeficiente de variación; <sup>4</sup>DMSH=Diferencia mínima significativa honesta; <sup>5</sup>Pr>F=significancia al 0.05%.

**Cuadro A-3.** Estadísticos de prueba AIC para el crecimiento de fruto (amarre-cosecha). Primer ciclo 2013.

Variable		Flujo 2		Flujo 3	
respuesta					
	Variedad	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 1	Modelo 2
		<i>logd = f (lgdd)</i>	<i>logd = f (gdd)</i>	<i>logd = f (lgdd)</i>	<i>logd = f (gdd)</i>
<b>Diámetro</b>	<b>Ana</b>	-258.10	-238.59	-246.29	-226.82
	<b>Juana</b>	-163.13	-143.98	-149.31	-129.71
	<b>Carlos</b>	-179.50	-161.88	-683.98	-663.99
	Variedad	<i>loga = f (lgdd)</i>	<i>loga = f (gdd)</i>	<i>loga = f (lgdd)</i>	<i>loga = f (gdd)</i>
<b>Longitud</b>	<b>Ana</b>	-247.07	-227.94	-159.72	-140.85
	<b>Juana</b>	-152.08	-134.08	-91.21	-76.02
	<b>Carlos</b>	-158.48	-140.24	-399.11	-379.88

**Cuadro A-4.** Estadísticos de prueba AIC para el crecimiento de fruto (amarre-cosecha). Segundo ciclo 2014.

Variable		Flujo 2		Flujo 3	
respuesta					
	Variedad	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 1	Modelo 2
		<i>logd = f (lgdd)</i>	<i>logd = f (gdd)</i>	<i>logd = f (lgdd)</i>	<i>logd = f (gdd)</i>
<b>Diámetro</b>	<b>Ana</b>	-14.88	2.50	-5.61	11.86
	<b>Juana</b>	-168.86	-149.68	-59.78	-41.51
	<b>Carlos</b>	-110.62	-91.56	-82.06	-62.30
	Variedad	<i>loga = f (lgdd)</i>	<i>loga = f (gdd)</i>	<i>loga = f (lgdd)</i>	<i>loga = f (gdd)</i>
<b>Longitud</b>	<b>Ana</b>	-8.27	8.91	-10.04	7.36
	<b>Juana</b>	-116.83	-103.83	-49.10	-31.43
	<b>Carlos</b>	-92.55	-74.34	-83.24	-56.77