

# FENOLOGÍA DEL AGUACATE ‘MÉNDEZ’ EN EL SUR DE JALISCO, MÉXICO

## PHENOLOGY OF ‘MÉNDEZ’ AVOCADO IN SOUTHERN JALISCO, MÉXICO

Samuel Salazar-García<sup>1</sup>, Martha E. Ibarra-Estrada<sup>2</sup>, José González-Valdivia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. (salazar.avocado@gmail.com). <sup>2</sup>Investigadores independientes.

### RESUMEN

En el sur del estado de Jalisco, México, el cultivo del aguacate (*Persea americana* Miller) ‘Méndez’ es importante por su adaptación al clima semicálido de la región y por su maduración y cosecha anual precoz (verano), respecto a ‘Hass’ (otoño), pero el desconocimiento de su fenología dificulta el manejo efectivo de los huertos de ‘Méndez’. El objetivo de esta investigación fue documentar la fenología de ‘Méndez’ durante dos ciclos de producción (2014-15 y 2015-16), en dos huertos comerciales con riego suplementario de octubre a junio (lluvia anual de 728 mm), establecidos en suelos de origen volcánico y textura ligera en el sur del estado de Jalisco. Las temperaturas máximas del suelo a 30 cm de la superficie fueron en mayo (24.5 °C) y las mínimas de enero a marzo (15.9 a 14.5°C). Los flujos vegetativos (FV) se registraron en verano (agosto-septiembre) e invierno (febrero) así como floraciones en verano (septiembre) e invierno (febrero). El desarrollo floral (yema vegetativa a antesis) en brotes del FV de verano e invierno duró 187 y 222 d, respectivamente. La caída de fruto (5 a 6 cm de diámetro) fue similar en las dos épocas de floración (55.4 a 61.8 %). La madurez del fruto ( $\geq 22.7$  % m.s.) ocurrió en julio y en septiembre-octubre para frutos de las floraciones de verano e invierno, respectivamente. Hubo dos flujos de producción de raíces y el mayor fue en verano (junio a agosto). Las temperaturas ambientales máximas y mínimas promedio de los meses más calientes (abril a junio) y fríos (enero a marzo) fueron de 31 y 9 °C, respectivamente. Los resultados de este estudio son básicos para comparar los cambios futuros en la fenología de ‘Méndez’.

**Palabras clave:** flujos vegetativos, desarrollo floral, frutos, raíces, ecofisiología.

### ABSTRACT

In the southern area of the state of Jalisco, Mexico, cultivation of ‘Méndez’ avocado (*Persea americana* Miller) is important due to its adaptation to the semi-warm climate of the region and because of its early maturation and harvest (summer), in relation to ‘Hass’ (fall), although the lack of knowledge of its phenology makes the effective management of ‘Méndez’ orchards difficult. The objective of this study was to document the phenology of ‘Méndez’ during two production cycles (2014-15 and 2015-16), in two commercial orchards with supplementary irrigation from October to June (annual rain of 728 mm), established in soils of volcanic origin and light texture in southern Jalisco. The maximum temperatures of the soil at 30 cm from the surface were in May (24.5 °C) and the minimum from January to March (15.9 to 14.5 °C). The vegetative flushes (VF) were found in summer (August-September) and winter (February), as well as flowering in summer (September) and winter (February). Flower development (vegetative bud to anthesis) in shoots from the summer and winter VFs lasted 187 and 222 d, respectively. The fruit drop (5 to 6 cm of diameter) was similar in the two flowering seasons (55.4 to 61.8 %). The fruit maturity ( $\geq 22.7$  % d.m.) happened in July and in September-October for fruits from the summer and winter flowering periods, respectively. There were two flushes of root production and the greatest was in summer (June to August). The maximum and minimum average environmental temperatures of the warmest (April to June) and coldest (January to March) months were 31 and 9 °C, respectively. The results from this study are basic to compare the future changes in the phenology of ‘Méndez’ avocado.

**Key words:** vegetative flushes, flower development, roots, ecophysiology.

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: abril, 2017. Aprobado: agosto, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 52: 991-1003. 2018.

## INTRODUCCIÓN

A través del año los árboles frutales presentan diversas fases del desarrollo o fenológicas, tales como flujos de crecimiento vegetativo o de raíces, y de desarrollo floral y del fruto (Wolstenholme y Whiley, 1989). Los ritmos de crecimiento anual varían con el tipo de clima y las condiciones de cultivo, por lo cual se han elaborado diagramas fenológicos para el aguacate (*Persea americana* Miller) 'Hass' con diferente grado de complejidad en regiones productoras como Australia (Whiley *et al.*, 1988), Sudáfrica (Whiley y Wolstenholme, 1990), Chile (Gardiazabal-Irazábal y Rosenberg, 1991), EUA (Arpaia *et al.*, 1994-95), y Nueva Zelanda (Thorp *et al.*, 1995). En México, la fenología de 'Hass' está descrita para las regiones productoras de Nayarit (Cossio-Vargas *et al.*, 2008) y Michoacán (Rocha-Arroyo *et al.*, 2011a). El aguacate 'Méndez No. 1' (Plant Patent 11,173 USA 2002), conocido en México como 'Méndez', tiene importancia económica en el sur del estado de Jalisco, donde hay más de 6000 ha plantadas. Su relevancia se debe a que una proporción importante de su cosecha anual madura más temprano (verano) que la de 'Hass' (otoño-invierno) y esa cosecha suele alcanzar los precios más altos del año.

Por desconocimiento de los aspectos hortícolas de 'Méndez', el manejo de los huertos se hace similar a 'Hass'. Pero, dada la importancia creciente de 'Méndez' es necesario desarrollar tecnología de producción apropiada para este cultivar de aguacate. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue documentar el comportamiento fenológico del aguacate 'Méndez' en el sur del estado de Jalisco.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó durante los ciclos de producción 2014-15 y 2015-16 en dos huertos comerciales de aguacate 'Méndez' de la empresa Agro González, S.P.R. de R.L., con fertirriego, suelo Feozem háplico y clima Semicálido subhúmedo [AC(w)] (García-Amaro, 1998) del sur del estado de Jalisco. El huerto Colorín 1 está en Atequizayan, Municipio de Zapotlán el Grande y el huerto Ocote Cuate 2 está en Zapotiltic, Municipio de Zapotiltic. Para estos huertos, la altitud es 1556 m y 1428 m, el distanciamiento entre árboles 7x3.5 m y 5x5 m y la edad al inicio del estudio de 4 y 6 años, respectivamente.

## INTRODUCTION

Throughout the year, fruit trees present diverse development or phenological phases, such as vegetative or root growth flushes, and of flower and fruit development (Wolstenholme and Whiley, 1989). The rhythms of annual growth vary with the type of climate and the cultivation conditions, so phenological diagrams were elaborated for 'Hass' avocado (*Persea americana* Miller) with different degree of complexity in production regions like Australia (Whiley *et al.*, 1988), South Africa (Whiley and Wolstenholme, 1990), Chile (Gardiazabal-Irazábal and Rosenberg, 1991), USA (Arpaia *et al.*, 1994-95), and New Zealand (Thorp *et al.*, 1995). In Mexico, 'Hass' phenology is described for the production regions of Nayarit (Cossio-Vargas *et al.*, 2008) and Michoacán (Rocha-Arroyo *et al.*, 2011a). The avocado 'Méndez No. 1' (Plant Patent 11,173 USA 2002), known in Mexico as 'Méndez' is economically important in the southern area of the state of Jalisco, where there are more than 6000 ha planted. Its relevance is because an important proportion of its annual harvest matures earlier (summer) than 'Hass' (fall-winter), and this harvest reaches the highest prices of the year.

Due to lack of knowledge of the horticultural aspects of 'Méndez', orchard management is done similarly to 'Hass'. However, given the growing importance of 'Méndez' it is necessary to develop appropriate production technology for this avocado cultivar. Therefore, the objective of this study was to document the phenological behavior of 'Méndez' avocado in the southern region of the state of Jalisco.

## MATERIALES Y MÉTODOS

The research was performed during the production cycles 2014-15 and 2015-16 in two commercial orchards of 'Méndez' avocado from the Agro González, S.P.R. de R.L. company, with fertirrigation, haplic Feozem soil and Semi-warm sub-humid climate [AC(w)] (García-Amaro, 1998) from the south of the state of Jalisco. The Colorín 1 orchard is in Atequizayan, municipality of Zapotlán el Grande, and the Ocote Cuate 2 orchard is in Zapotiltic, municipality of Zapotiltic. For these orchards, the altitude is 1556 m and 1428 m, the distance between trees 7x3.5 m and 5x5 m, and the age at the beginning of the study 4 and 6 years, respectively.

### Características del suelo

En cada huerto se seleccionaron al azar cinco árboles y se obtuvo una muestra de suelo integrada por cuatro submuestras de la zona de goteo del árbol, a 0-30 cm de profundidad, que es la zona con mayor cantidad de raíces jóvenes (Salazar-García y Cortés-Flores, 1986). Los análisis se realizaron en un laboratorio acreditado por The North American Proficiency Testing (NAPT) Program (programa de Soil Science Society of America). Las variables fueron textura, pH (1:2 agua) (McLean, 1982), materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982), N-inorgánico (Dahnke, 1990), P-Bray (Bray y Kurtz, 1945), K, Ca, Mg y Na con acetato de amonio (Doll y Lucas, 1973), Fe, Zn, Cu, Mn por el método DTPA (Lindsay y Norvell, 1978) y B se determinó por el método de agua caliente y Azometina-H (Bingham, 1982). Las variables P y B se determinaron en un espectrofotómetro Genesys 20 (Thermo Scientific, Madison, USA); para los otros nutrientes se usó un espectrofotómetro de absorción atómica (Thermo Series S, Shanghai, China).

### Variabes fenológicas

En 10 árboles por huerto se marcaron 20 brotes por árbol, al inicio de los flujos vegetativos de invierno y verano 2014 y 2015. De cada árbol y brote marcado se recolectó una yema apical o brote floral a intervalos quincenales o semanales según se aproximaba la antesis. Las yemas y brotes florales se fijaron en FAA (formaldehído:ácido acético:etanol, 5:5:90, v:v:v) y después se introdujeron a una campana de vacío (Nalgene 8040317, Nalgen Company) a 30 KPa por 5 h. Luego se clasificaron con un microscopio estereoscópico (Zeiss Stereomikroskop Mod. Stemi 2000-C, Carl Zeiss, Göttingen, Germany), con la escala visual de Salazar-García *et al.* (1998) que comprende desde E-1 (yema vegetativa) a E-11 (antesis).

En cada huerto se seleccionó otro grupo de 10 árboles, con historial de producción anual de al menos 50 kg por árbol y fueron usados en todas las evaluaciones, excepto las del desarrollo floral. En febrero y agosto de 2014 y 2015 en cada árbol se etiquetaron 30 brotes al inicio de cada flujo vegetativo (invierno y verano, respectivamente). El tipo de crecimiento producido (brotes florales, vegetativos o inactivos) por los brotes marcados se cuantificó al término de cada floración, en octubre y febrero 2014, así como en noviembre 2015 y marzo 2016.

Los muestreos de raíces se hicieron cada mes desde febrero 2014 a febrero 2016 alternando árboles nones y pares, así como las orientaciones norte y sur de los árboles. Las raíces jóvenes, de color café claro, en un volumen de suelo de 40x40x40 cm en la zona de goteo del árbol, se extrajeron, lavaron y deshidrataron en un horno con aire forzado (Binder Mod. ED 240, Binder

### Characteristics of the soil

Five trees were selected randomly in each orchard, and a soil sample was taken made up of four sub-samples from the drip zone of the tree, at 0-30 cm of depth, which is the zone with highest amounts of young roots (Salazar-García and Cortés-Flores, 1986). The analyses were performed in a laboratory accredited by the North American Proficiency Testing (NAPT) program (a program by the Soil Science Society of America). The variables were texture, pH (1:2 water) (McLean, 1982), organic matter (OM) by the Walkley and Black method (Nelson and Sommers, 1982), inorganic-N (Dahnke, 1990), P-Bray (Bray and Kurtz, 1945), K, Ca, Mg and Na with ammonium acetate (Doll and Lucas, 1973), Fe, Zn, Cu, Mn by DTPA method (Lindsay and Norvell, 1978), and B was determined by the hot water and Azomethine-H method (Bingham, 1982). The variables P and B were determined in a Genesys 20 spectrophotometer (Thermo Scientific, Madison, USA); an atomic absorption spectrophotometer (Thermo Series S, Shanghai, China) was used for the other nutrients.

### Phenological variables

Twenty shoots per tree were tagged in 10 trees per orchard, at the beginning of the vegetative growth flushes of winter and summer 2014 and 2015. From each tree and shoot marked, an apical bud or flower shoot was collected at biweekly or weekly intervals as anthesis was approached. The buds and flower shoots were fixed in FAA (formaldehyde:acetic acid:ethanol, 5:5:90, v:v:v) and then they were introduced into a vacuum bell (Nalgene 8040317, Nalgen Company) at 30 KPa for 5 h. Later they were classified with a stereoscopic microscope (Zeiss Stereomikroskop Mod. Stemi 2000-C, Carl Zeiss, Göttingen, Germany), with the visual scale suggested by Salazar-García *et al.* (1998) that covers from S-1 (vegetative bud) to S-11 (anthesis).

In each orchard, another group of 10 trees was selected, with a history of annual production of at least 50 kg per tree, and they were used in all the assessments except those of flower development. In February and August 2014 and 2015, 30 shoots were labeled on each tree at the beginning of each vegetative flush (winter and summer, respectively). The types of growth produced (floral, vegetative or inactive shoots) by the tagged shoots were quantified at the end of each flowering period, in October and February 2014, and in November 2015 and March 2016.

The root samples were taken each month from February 2014 to February 2016, alternating odd and even trees, as well as north and south orientation of the trees. The young roots, of light brown color, in a soil volume of 40x40x40 cm in the drip zone of the tree, were extracted, washed and dehydrated in a

Corp., Tuttingen, Alemania) a 70 °C por 72 h para obtener su peso seco.

La caída de fruto se cuantificó cada año para frutos de las floraciones de verano e invierno. En anthesis se marcaron cinco brotes florales en cada punto cardinal de la parte media de la copa de cada 10 árboles seleccionado. Para frutos de la floración de verano se contabilizó el número de frutos por brote floral dos (noviembre) y seis (marzo) meses después de anthesis. En frutos de la floración de invierno esto se hizo dos (abril) y cinco (julio) meses después de anthesis.

En cada árbol marcado se etiquetaron cinco frutos de cada floración cuando tenían 2 cm de longitud. Cada mes se midió su longitud y diámetro con un vernier digital (Mitutoyo, Mod. CD-6" CSX, Mitutoyo Corp., Kawasaki, Japón) desde octubre (frutos de la floración de verano) y abril (frutos de la floración de invierno).

### VARIABLES CLIMÁTICAS

Los datos de precipitación pluvial fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2016). Las temperaturas ambiental y del suelo (a 30 cm de profundidad) fueron registradas en cada huerto con termómetros automatizados (HOBO H8, Onset Computer, Witzprod, Englewood Cliffs, NJ, USA) operados a batería.

### ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El diseño experimental fue de bloques al azar con un arreglo factorial 2x2, huertos (Colorín 1 y Ocote Cuate 2), flujos vegetativos (verano e invierno), con 10 repeticiones (árboles) y la unidad experimental fue 30 brotes por árbol. Los ANDEVA se realizaron con medidas repetidas para cada huerto y flujo vegetativo. Previo a su análisis, los valores expresados como porcentaje fueron transformados mediante el arcoseno  $\sqrt{x+0.5}$  (Steel y Torrie, 1984). Las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) y se usó el programa SAS V. 9.3 (2011).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Fertilidad del suelo

Las características de fertilidad del suelo fueron similares entre huertos. La MO, Ca y Mg fueron de moderadamente bajos a bajos y en el huerto Colorín 1 fueron notorios los niveles bajos de Mn, B y Zn (Cuadro 1). El contenido bajo de MO además de los niveles insuficientes de Mn, B y Zn son característicos de los suelos de origen volcánico (Salazar-

forced air oven (Binder Mod. ED 240, Binder Corp., Tuttingen, Germany) at 70 °C for 72 h, to obtain their dry weight.

The fruit drop was quantified each year for fruits from the summer and winter flowering periods. In anthesis, five floral shoots were marked in each cardinal point from the medium part of the canopy from every 10 trees selected. For fruit from the summer flowering, the number of fruit were counted per flower shoot, two (November) and six (March) months after anthesis. In fruit from the winter flowering, this was done two (April) and five (July) months after anthesis.

Five fruit were labeled in each tree marked, from each flowering period, when they were 2 cm long. Each month the length and diameter were measured with a digital Vernier scale (Mitutoyo, Mod. CD-6" CSX, Mitutoyo Corp., Kawasaki, Japan) from October (fruit from the summer flowering) and April (fruit from the winter flowering).

### Climate variables

The data of rainfall were obtained from the National Meteorological Service (*Servicio Meteorológico Nacional*, SMN, 2016). The environmental and soil (at 30 cm of depth) temperatures were recorded in each orchard with battery-operated automatized thermometers (HOBO H8, Onset Computer, Witzprod, Englewood Cliffs, NJ, USA).

### Experimental design and statistical analysis

The experimental design was random blocks with a 2x2 factorial arrangement: orchards (Colorín 1 and Ocote Cuate 2), and vegetative flushes (summer and winter), with 10 replicates (trees); and the experimental unit was 30 shoots per tree. The ANOVA was performed with repeated measurements for each orchard and vegetative flush. Prior to their analysis, the values expressed as percentage were transformed by the arcsine  $\sqrt{x+0.5}$  (Steel and Torrie, 1984). The means were compared with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) and the SAS V. 9.3 software was used (2011).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Soil fertility

The characteristics of soil fertility were similar between orchards. The OM, Ca and Mg ranged from moderately low to low and in the Colorín 1 orchard the low levels of Mn, B and Zn were evident (Table 1). The low content of OM in addition to the insufficient levels of Mn, B and Zn are characteristic

**Cuadro 1. Características del suelo de los huertos a 0-30 cm de profundidad al inicio del estudio (febrero 2014).****Table 1. Soil characteristics of the orchards at 0-30 cm of depth at the beginning of the study (February 2014).**

Características	Huerto Colorín 1	Huerto Ocote Cuate 2
pH (1:2 H <sub>2</sub> O)	7.1 (Neutro)	6.6 (Neutro)
Materia orgánica (%)	0.82 (B)	1.7 (MoB)
Conductividad eléctrica (dS/m)	0.26	0.33
		mg kg <sup>-1</sup>
N-NO <sub>3</sub>	5.6 (MB)	6.4 (MB)
P-Bray	22.8 (M)	66.4 (MA)
K	180 (MoB)	491 (MoA)
Ca	1273 (MoB)	859 (MoB)
Mg	96.3 (B)	183 (MoB)
Na	74 (M)	49.1 (B)
Fe	17.6 (MoA)	79.4 (MoA)
Cu	2.3 (A)	4.0 (A)
Mn	1.6 (MB)	3.9 (B)
Zn	0.54 (B)	1.2 (MoA)
B	0.22 (MB)	0.32 (MB)

Interpretación de laboratorio: A: alto; MoA: moderadamente alto; MA: muy alto; M: medio; B: bajo; MoB: moderadamente bajo; MB: muy bajo; N: normal ♦ Laboratory interpretation: A: high; MoA: moderately high; MA: very high; M: medium; B: low; MoB: moderately low; MB: very low; N: normal.

García *et al.*, 2016), lo que sugiere la necesidad de incorporar MO y los nutrientes en concentraciones moderadamente bajas a bajas para mejorar la fertilidad del suelo. En ambos huertos el pH fue neutro (Cuadro 1). En otras regiones productoras de aguacate los suelos presentan pH similares o más ácidos (Aguilera-Montañez y Salazar-García, 1991; Salazar-García y Lazcano-Ferrat, 1999). Sin embargo, el aguacate puede prosperar en pH de 4.8 o superiores a 6.5 (Salazar-García, 2002).

### Tipo de crecimiento

La producción de brotes florales tuvo un comportamiento diferente entre huertos. En el Colorín 1 se registró 33.1 % y en el Ocote Cuate 2, 19.1 % (Cuadros 2 y 3). El descenso en la temperatura ambiental es el factor que promueve el desarrollo floral en aguacate (Salazar-García *et al.*, 1999, 2006a, 2013). La diferencia en la producción de brotes florales entre los huertos se explica por las temperaturas más bajas en el Colorín 1 (promedio anual 20.5 °C) respecto al Ocote Cuate 2 (22.5 °C) (Figuras 1a y 1b) lo que favoreció mayor exposición del huerto El Colorín

of soils of volcanic origin (Salazar-García *et al.*, 2016), suggesting the need to incorporate OM and nutrients in moderately low to low concentrations to improve the soil fertility. The pH was neutral in both orchards (Table 1). In other avocado production regions, the soils present similar or more acidic pH (Aguilera-Montañez and Salazar-García, 1991; Salazar-García and Lazcano-Ferrat, 1999). However, avocado can grow in pH of 4.8 or higher than 6.5 (Salazar-García, 2002).

### Type of growth

The production of flower shoots had different behavior between orchards. In Colorín 1, 33.1 % was found and in Ocote Cuate 2, 19.1 % (Tables 2 and 3). The decrease in environmental temperature is the factor that promotes floral development in avocado (Salazar-García *et al.*, 1999, 2006a, 2013). The difference in production of floral shoots between orchards is explained by the lower temperatures in Colorín 1 (annual average 20.5 °C) compared to Ocote Cuate 2 (22.5 °C) (Figures 1a and 1b), which favored a greater exposure of the El Colorín 1 orchard

**Cuadro 2. Análisis de varianza e interacciones huerto x flujo del tipo de crecimiento producido por brotes de los flujos vegetativos de invierno y verano del aguacate 'Méndez'. Datos de dos años de los huertos Colorín 1 y Ocote Cuate 2.**

**Table 2. Variance analysis and orchard interactions x flush of the type of growth produced by shoots from the winter and summer vegetative flushes of 'Méndez' avocado. Data from two years from the orchards Colorín 1 and Ocote Cuate 2.**

Tipo de crecimiento	Fuente de variación <sup>†</sup>	GL	SC	CM	F	P > F
Brotes vegetativos	Huerto	1	0.01413000	0.01413000	0.00	0.9525
	Flujo	1	3.27166727	3.27166727	0.83	0.3658
	Huerto*Flujo	1	0.42702000	0.42702000	0.11	0.7434
Brotes florales	Huerto	1	47.17805953	47.17805953	6.58	0.0119
	Flujo	1	3.01030617	3.01030617	0.42	0.5185
	Huerto*Flujo	1	14.57155268	14.57155268	2.03	0.1572
Inactivos	Huerto	1	76.71389754	76.71389754	14.12	0.0003
	Flujo	1	3.53008144	3.53008144	0.65	0.4223
	Huerto*Flujo	1	23.07924822	23.07924822	4.25	0.0421

<sup>†</sup>Análisis de varianza realizado con datos transformados mediante el arcoseno  $\sqrt{x+0.5}$  ♦ Variance analysis performed with transformed data through the arcsine  $\sqrt{x+0.5}$ .

**Cuadro 3. Efecto del huerto y flujo vegetativo de origen sobre el tipo de crecimiento producido en aguacate 'Méndez'. Evaluaciones realizadas en: octubre 2014 y noviembre 2015 (brotes de invierno) y febrero 2015 y marzo 2016 (brotes de verano).**

**Table 3. Effect of the orchard and vegetative flush of origin on the type of growth produced in 'Méndez' avocado. Assessments performed in: October 2014 and November 2015 (winter shoots) and February 2015 and March 2016 (summer shoots).**

Fuente de variación	N <sup>†</sup>	Tipo de crecimiento del total de brotes marcados (%)		
		Vegetativo	Floral	Inactivo
Huerto Colorín 1	774	53.8	33.1 a <sup>‡</sup>	13.0 b
Huerto Ocote Cuate 2	775	53.8	19.3 b	26.7 a
Pr > F		0.9525	0.0119	0.0003
Brotes de invierno	917	52.2	26.3	21.1
Brotes de verano	634	55.8	26.3	17.8
Pr > F		0.3658	0.5185	0.4223

<sup>†</sup>Número de brotes evaluados ♦ Number of shoots evaluated.

<sup>‡</sup>Medias con distinta letra en una columna para cada huerto o tipo de brote son estadísticamente diferentes (Tukey;  $p \leq 0.05$ ) ♦ Means with different letter in a column for each orchard or type of shoot are statistically different (Tukey;  $p \leq 0.05$ ).

1 a temperaturas más frescas. El flujo vegetativo de origen (invierno o verano) no afectó el tipo de crecimiento producido (vegetativo, floral o inactivo) (Cuadros 2 y 3).

to cooler temperatures. The vegetative flush of origin (winter or summer) did not affect the type of growth produced (vegetative, floral or inactive) (Tables 2 and 3).



## Crecimiento vegetativo

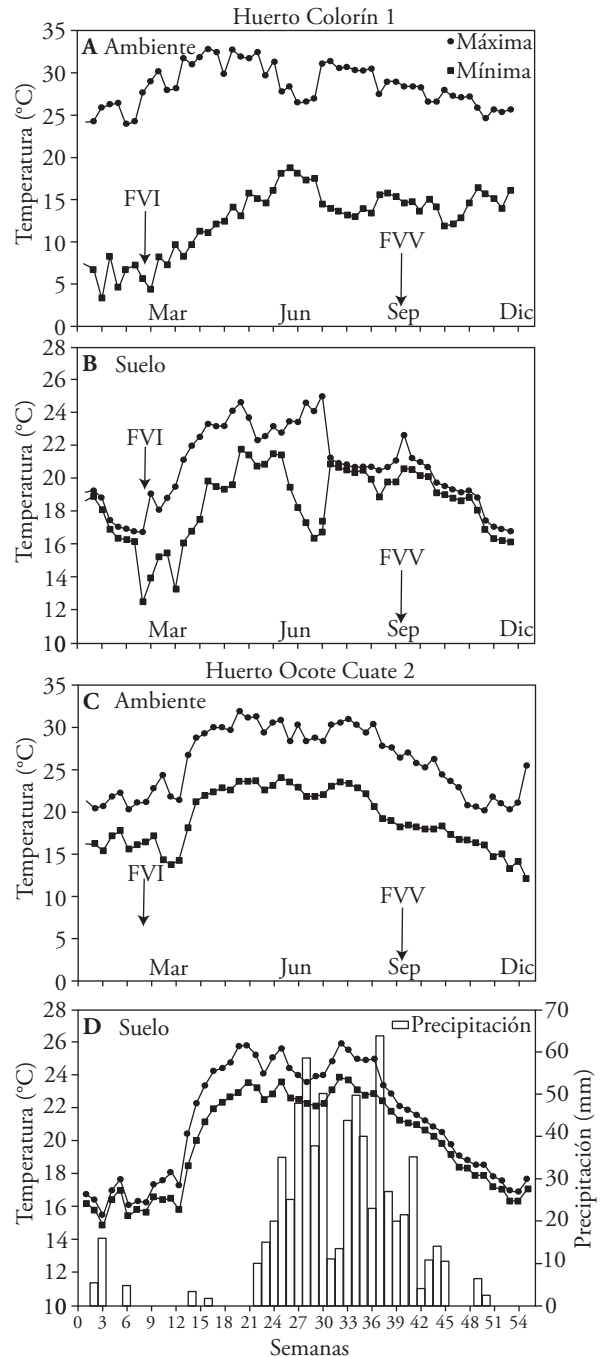
El registro fenológico comenzó con la brotación (febrero 2014) de brotes del flujo vegetativo de invierno. Del 100 % de brotes de invierno marcados, 25 % produjeron floración en el verano (septiembre 2014) y 6 % florecieron en el invierno siguiente (febrero 2015). El 55 % de los brotes de invierno produjo brotes de verano en septiembre 2014 y de éstos, 27 % florecieron en invierno (febrero 2015). Los brotes de invierno y verano produjeron una cantidad importante de brotes vegetativos (entre 50 y 60 %) (Figura 2). A diferencia de 'Méndez', en 'Hass' el flujo de invierno no produce floración en el verano; sin embargo, puede ocurrir si las condiciones ambientales son favorables (Rocha-Arroyo *et al.*, 2011a).

En 'Hass' el flujo vegetativo de invierno (conocido como flujo de primavera en otras regiones) es el más importante para la floración de invierno-primavera del siguiente año, y está documentado en México (Cossio-Vargas *et al.*, 2008; Rocha-Arroyo *et al.*, 2011b) y otros países (Mena-Volker, 2004; Robinson *et al.*, 2002; Salazar-García y Lovatt, 1998; Thorp *et al.*, 1995; Whiley *et al.*, 1990).

## Desarrollo floral

La duración del desarrollo floral (de yema vegetativa a antesis) mostró ligera variación entre años. Para el 2014 transcurrieron 218 y 180 d para los brotes de invierno y verano, respectivamente. La 1ª floración, o de verano, presentó antesis en septiembre y la 2ª floración, o de invierno, en febrero (Figura 3). En el 2015, los brotes de invierno completaron el desarrollo floral en 225 d produciendo la 1ª floración entre la última semana de septiembre y la primera de octubre. En el caso de brotes de verano el desarrollo floral requirió 193 d, con antesis en la primera semana de marzo 2016 (2ª floración).

En los dos años de estudio, los brotes de verano requirieron, en promedio, 35 d menos que los de invierno para completar el desarrollo floral. Esta diferencia fue menor que los 120 y 180 d mencionados para ambos flujos de 'Hass' en Nayarit y Michoacán, respectivamente (Cossio-Vargas *et al.*, 2008; Rocha-Arroyo *et al.*, 2011a). El menor tiempo requerido para que los brotes de verano de 'Méndez' completaran su desarrollo floral pudo deberse a que cuando emergieron (agosto-septiembre) la temperatura



**Figura 1.** Temperatura ambiental (A y C) y del suelo (B y D) registradas en los huertos Colorín 1 y Ocote Cuate 2, así como precipitación pluvial (D). FVI: flujo vegetativo de invierno; FVV: flujo vegetativo de verano.

**Figure 1.** Environmental (A and C) and soil (B and D) temperature recorded in the Colorín 1 and Ocote Cuate 2 orchards, as well as rainfall (D). FVI: winter vegetative flush; FVV: summer vegetative flush.

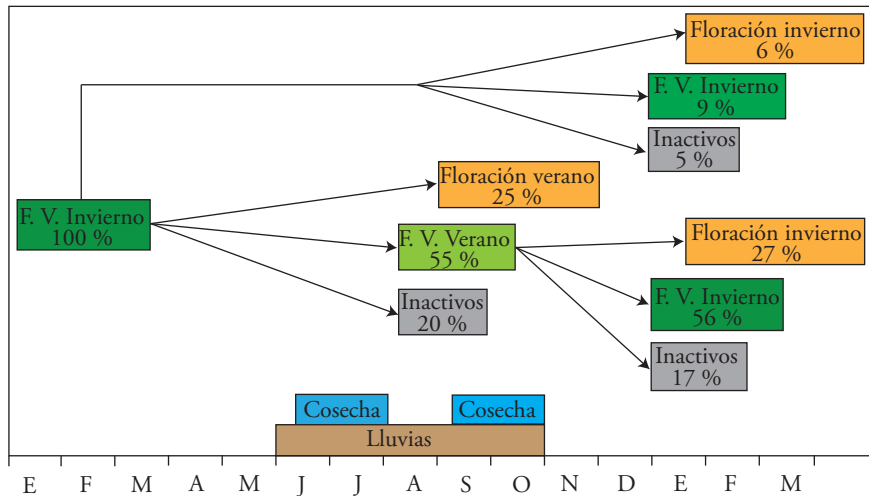


Figura 2. Origen y destino de los flujos de crecimiento vegetativo (F.V.) del aguacate 'Méndez'.  
 Figure 2. Origin and destination of the vegetative growth flushes (V.F.) of the 'Méndez' avocado.

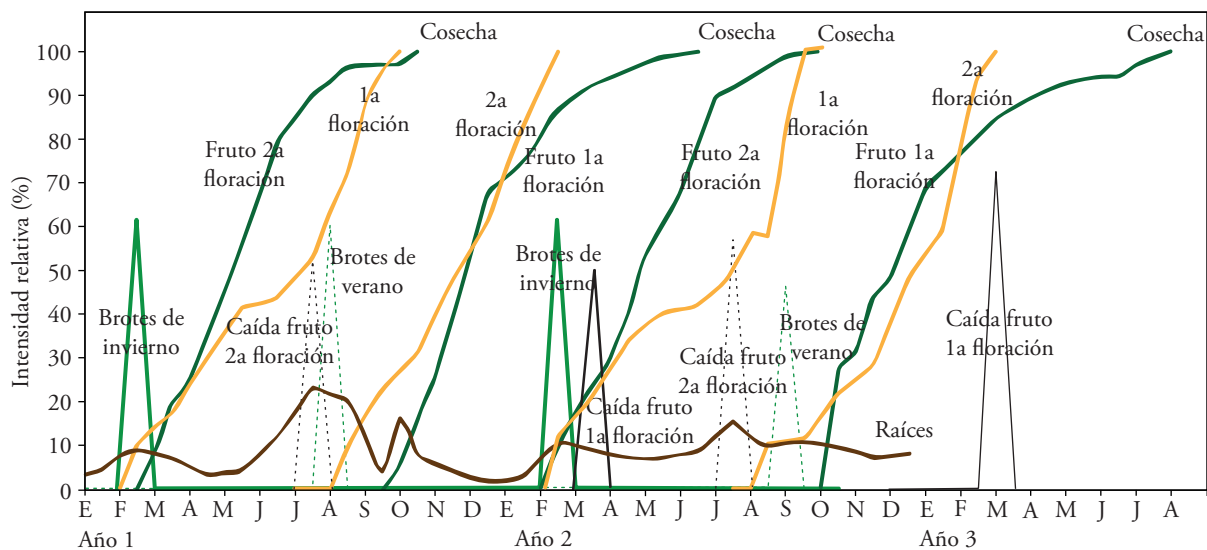


Figura 3. Principales etapas fenológicas del aguacate 'Méndez' en el sur del estado de Jalisco. 1ª floración: floración de verano; 2ª floración; floración de invierno.  
 Figure 3. Main phenological stages of 'Méndez' avocado in the southern region of the state of Jalisco. 1<sup>st</sup> flowering: summer flowering; 2<sup>nd</sup> flowering; winter flowering.

ambiental ya había iniciado su descenso (21 °C, en promedio), estimulando el desarrollo floral. El efecto del descenso de la temperatura en brotes de 'Hass' en desarrollo fue mencionado por Rocha-Arroyo *et al.* (2010) y Salazar-García *et al.* (2013).

### Caída de fruto

Los frutos caídos en la denominada "segunda caída", "caída fisiológica" o "caída de junio" (hemisferio

### Vegetative growth

The phenological record began with the budbreak (February 2014) of shoots from the winter vegetative flush. Out of 100 % of winter shoots marked, 25 % flowered in the summer (September 2014) and 6 % flowered the following winter (February 2015). Of the winter shoots, 55 % produced summer shoots in September 2014, and of these, 27 % flowered in winter (February 2015). The winter and summer



norte) presentaron diámetros entre 5 y 6 cm. Para frutos provenientes de la primera floración (verano) la caída fue 61.8 % y ocurrió en marzo. La caída de fruto de la segunda floración (invierno) fue en julio (55.4 %). La magnitud de la caída fisiológica registrada en nuestro estudio es similar a la descrita para 'Hass' en otras regiones productoras: 45 % en Nayarit, México (Cossio-Vargas *et al.*, 2008) y 54 % en Sudáfrica (Toerien, 1979). La edad de los frutos caídos procedentes de las floraciones de verano e invierno fue de 22 y 26 semanas después de anthesis, respectivamente. La caída de fruto de la segunda floración fue poco antes del flujo vegetativo de verano y para los de la primera floración fue después del flujo vegetativo de invierno (Figura 3).

Cossio-Vargas *et al.* (2008) y Lovatt (1990) mencionan la coincidencia y Wolstenholme y Whiley (1989) la no coincidencia entre la caída de fruto y la presencia de crecimiento vegetativo, pero no hay información concluyente sobre las causas que originan la segunda caída de fruto (Dixon *et al.*, 2006). Una hipótesis menciona el desbalance hormonal como responsable de esta caída de fruto, y destaca el ácido abscísico (ABA) como principal causante (Adato y Gazit, 1977). Para disminuir la intensidad de esta caída en aguacate 'Hass' se evaluaron aspersiones foliares con 2,4-D o aminoethoxyvinylglycina desde dos meses antes del inicio de la caída de fruto, y en el segundo año de estudio disminuyó 18 y 17.7 %, respectivamente; además aumentó 32 y 23.6 % la producción de fruto de calibres grandes (170 a  $\geq 266$  g fruto<sup>-1</sup>), respectivamente, respecto al testigo (Salazar-García *et al.*, 2006b). Garner y Lovatt (2016) confirmaron que el ABA está involucrado en la segunda caída de fruto en 'Hass' en California.

### Crecimiento de fruto

Los frutos de 'Méndez' resultantes de las floraciones de verano e invierno requirieron 10 y ocho meses, respectivamente, para alcanzar la madurez fisiológica (22.7 % m.s.) (Figura 3). Para frutos de la floración de invierno hay resultados similares para 'Hass' (21.5 % m.s.) en Nayarit y Michoacán (Cossio-Vargas *et al.*, 2008; Rocha-Arroyo *et al.*, 2011a). Los frutos de la floración de verano alcanzaron la madurez fisiológica en julio, con un diámetro promedio de 6.5 cm y los de la floración de invierno entre septiembre y octubre con un diámetro promedio de 6.4 cm. Los

shoots produced an important number of vegetative shoots (between 50 and 60 %) (Figure 2). In contrast with 'Méndez', in 'Hass' the winter flush does not produce flowering in the summer; however, it can happen if the environmental conditions are favorable (Rocha-Arroyo *et al.*, 2011a).

In 'Hass' the winter vegetative flush (known as spring flush in other regions) is the most important for the winter-spring flowering of the following year, and it is documented in Mexico (Cossio-Vargas *et al.*, 2008; Rocha-Arroyo *et al.*, 2011b) and other countries (Mena-Volker, 2004; Robinson *et al.*, 2002; Salazar-García and Lovatt, 1998; Thorp *et al.*, 1995; Whiley *et al.*, 1990).

### Flower development

The duration of flower development (from vegetative shoot to anthesis) showed slight variation between years. For 2014, 218 and 180 d went by for the winter and summer shoots, respectively. The 1<sup>st</sup> or summer flowering presented anthesis in September, and the 2<sup>nd</sup> or winter flowering, in February (Figure 3). In 2015, the winter shoots completed flower development in 225 d, producing the 1<sup>st</sup> flowering between the first week of September and the first of October. In the case of summer shoots, the flower development required 193 d, with anthesis on the first week of March 2016 (2<sup>nd</sup> flowering).

In the two years of study, the summer shoots required, in average, 35 d less than the winter ones to complete the flower development. This difference was lower than the 120 and 180 d mentioned for both flushes of 'Hass' in Nayarit and Michoacán, respectively (Cossio-Vargas *et al.*, 2008; Rocha-Arroyo *et al.*, 2011a). The lesser time required for the summer 'Méndez' shoots to complete their flower development could be because when they emerged (August-September) the environmental temperature had already begun its descent (21 °C in average), stimulating floral development. The effect of the temperature decrease in developing 'Hass' shoots was mentioned by Rocha-Arroyo *et al.* (2010) and Salazar-García *et al.* (2013).

### Fruit drop

The fruit dropped in the so-called "second drop", "physiological drop" or "June drop" (northern

frutos derivados de la floración de verano requirieran dos meses más para alcanzar la madurez fisiológica, lo cual se puede atribuir a que cuando éstos iniciaron su crecimiento (septiembre-octubre) las temperaturas del aire (21.8 °C) y suelo (20.8 °C) habían iniciado su descenso, lo cual disminuye el ritmo del metabolismo del árbol.

### Producción de raíces

La producción de raíces no cesó durante el año y hubo dos periodos de mayor intensidad (Figura 3). El flujo más importante fue en los meses lluviosos del verano (junio-agosto), previo al flujo vegetativo de verano. El segundo flujo de crecimiento de raíces tuvo menor intensidad, fue de febrero a marzo y coincidió con la floración de invierno y su correspondiente flujo vegetativo. La mayor producción de raíces en el verano coincidió con lo descrito para 'Hass' cultivado sin riego en Nayarit (Cossio-Vargas *et al.*, 2008) y con riego o sin él para el mismo cultivar en Michoacán (Bárceñas-Ortega *et al.*, 2007). En Israel, Kalmar y Lahav (1976) encontraron en 'Ettinger' y 'Fuerte' una asociación positiva entre la cantidad de agua aplicada y la producción de raíces, pero en Michoacán (Bárceñas-Ortega *et al.* (2007) documentaron lo contrario en 'Hass'.

Según Bernstein *et al.* (2004) en aguacate el crecimiento de las raíces puede ser más restringido por la salinidad que por la presencia de brotes vegetativos. En nuestro estudio, en ambos huertos la CE del suelo varió de 0.26 a 0.33 dS m<sup>-1</sup> por lo que no fue un factor limitante para el desarrollo de raíces y no afectó la caída de fruto. Además, la menor producción de raíces ocurrió cuando el fruto estaba en su máximo crecimiento (Figura 3).

### Precipitación pluvial y temperaturas del aire y suelo

En ambos huertos la lluvia anual fue 728 mm, concentrada entre junio y septiembre (Figura 1). En el huerto Colorín 1 las temperaturas ambientales máximas y mínimas promedio de los meses más calientes (abril y mayo) y fríos (enero y febrero), fueron 32, 31 y 6.4 y 6.0 °C, respectivamente (Figura 1A). En el huerto Ocote Cuate 2 las temperaturas de los meses más calientes (mayo y junio) y frío (marzo) fueron 30.8 y 30.6 y 15.0, respectivamente (Figura 1C).

hemisphere) presented diameters between 5 and 6 cm. For fruits from the first flowering period (summer), the drop was 61.8 % and it happened in March. The fruit drop from the second flowering period (winter) was in July (55.4 %). The magnitude of the physiological drop recorded in our study is similar to the one described for 'Hass' in other production regions: 45 % in Nayarit, Mexico (Cossio-Vargas *et al.*, 2008) and 54 % in South Africa (Toerien, 1979). The age of the dropped fruit from the summer and winter flowering periods was 22 and 26 weeks after anthesis, respectively. The fruit drop from the second flowering was shortly before the summer vegetative flush and for those from the first flowering, it was after the winter vegetative flush (Figure 3).

Cossio-Vargas *et al.* (2008) and Lovatt (1990) mention the coincidence, and Wolstenholme and Whaley (1989) the lack of coincidence between the fruit drop and the presence of vegetative growth, but there is no conclusive information about the causes that originate the second fruit drop (Dixon *et al.*, 2006). A hypothesis mentions the hormonal imbalance as responsible for this fruit drop, and highlights abscisic acid (ABA) as primary cause (Adato and Gazit, 1977). In order to decrease the intensity of this drop in 'Hass' avocado, leaf spraying with 2,4-D or aminoethoxyvinylglycine were evaluated because two months before the beginning of the fruit fall, and in the second year of study, it decreased 18 and 17.7 %, respectively; in addition, it increased the production of fruit of large calibers (170 to  $\geq 266$  g fruit<sup>-1</sup>) in 32 and 23.6 %, respectively, compared to the control (Salazar-García *et al.*, 2006b). Garner and Lovatt (2016) confirmed that ABA is involved in the second fruit drop in 'Hass' avocado in California.

### Fruit growth

The 'Méndez' fruit that result from the summer and winter flowering periods required 10 and eight months, respectively, to reach physiological maturity (22.7 % d.m.) (Figure 3). For fruit from the winter flowering, there are similar results for 'Hass' (21.5 % d.m.) in Nayarit and Michoacán (Cossio-Vargas *et al.*, 2008; Rocha-Arroyo *et al.*, 2011a). The fruit from the summer flowering reached physiological maturity in July, with an average diameter of 6.5 cm; and those from the winter flowering between September and October, with an average diameter of 6.4 cm. The

La temperatura del suelo más alta (23.8 °C) fue en mayo y la más baja (14.5 °C) en marzo en el Colorín 1 (Figura 1B). Para el Ocote Cuate 2 la temperatura del suelo máxima fue en mayo (25.2 °C) y las mínimas en enero (15.9 °C) y febrero (16.0 °C) (Figura 1D). En ambos huertos, las temperaturas máximas del suelo se mantuvieron entre 21 a 27 °C, mencionadas por Yusof *et al.* (1969) como adecuadas para el crecimiento de las raíces de aguacate. De igual manera, la temperatura mínima fue superior a 13 °C, señalada por Whaley *et al.* (1990) como el límite inferior a partir del cual el crecimiento de las raíces de aguacate se detiene.

## CONCLUSIONES

El aguacate 'Méndez' presentó dos flujos de crecimiento vegetativo: verano e invierno. Los brotes de verano produjeron la floración de invierno y los de invierno la de verano. El desarrollo floral se completó en 186 y 221 d para brotes de verano e invierno, respectivamente. La máxima producción de raíces fue en la época de lluvias y la menor durante el máximo crecimiento del fruto. La caída de fruto fue ligeramente superior para la 1ª floración (verano). Los frutos de la floración de verano requirieron dos meses más que los de invierno para lograr su madurez fisiológica. La presencia permanente de brotes vegetativos desocupados (sin fruto) junto con el descenso de la temperatura en la primavera es clave para la floración de verano cuyo fruto es de alto valor comercial.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el financiamiento parcial del INIFAP y Agro González, SPR de RL en Ciudad Guzmán, Jalisco, así como del CONACYT para la estancia posdoctoral de Martha Elva Ibarra-Estrada en el posgrado de Ciencias Biológicas Agropecuarias-Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit.

## LITERATURA CITADA

- Adato, I., and S. Gazit. 1977. Role of ethylene in avocado fruit development and ripening: I. Fruit drop. *J. Exp. Bot.* 28:636-643.
- Aguilera-Montañez, J. L., y S. Salazar-García. 1991. The avocado industry in Michoacán México. *South African Avocado Growers' Assn. Yrbk.* 14: 94-97.
- Arpaia, M. L., G. W. Witney, P. W. Robinson, and M. V. Mickelbart. 1994-95. 'Hass' avocado phenology in California: preliminary results. *Subtrop. Fruit News* 3: 1-2.

fruits derived from the summer flowering required two more months to reach physiological maturity, which can be attributed to the fact that when they began their growth (September-October), the air (21.8 °C) and soil (20.8 °C) temperatures had begun their descent, which decreased the rhythm of tree metabolism.

## Root production

Root production did not stop during the year and there were two periods of higher intensity (Figure 3). The most important flush was in the rainy months of the summer (June-August), prior to the summer vegetative flush. The second flush of root growth was less intense, from February to March, and coincided with the winter flowering and its corresponding vegetative flush. The highest production of roots in the summer coincided with what is described for 'Hass' cultivated without irrigation in Nayarit (Cossio-Vargas *et al.*, 2008), and with and without irrigation for the same cultivar in Michoacán (Bárceñas-Ortega *et al.*, 2007). In Israel, Kalmar and Lahav (1976) found in 'Ettinger' and 'Fuerte' a positive association between the amount of water applied and the root production, but in Michoacán, Bárceñas-Ortega *et al.* (2007) documented the opposite in 'Hass'.

According to Bernstein *et al.* (2004), in avocado, root growth can be more restricted by the salinity than by the presence of vegetative shoots. In our study, in both orchards the CE of the soil varied from 0.26 to 0.33 dS m<sup>-1</sup>, which is why it was not a limiting factor for the development of roots and did not affect the fruit drop. In addition, the lowest production of roots happened when the fruit was at its maximum growth (Figure 3).

## Rainfall and air and soil temperatures

In both orchards, the annual rainfall was 728 mm, concentrated between June and September (Figure 1). In the Colorín 1 orchard, the maximum and minimum average temperatures of the warmest (April and May) and coldest (January and February) months were 32, 31 and 6.4 and 6.0 °C, respectively (Figure 1A). In the Ocote Cuate 2 orchard the temperatures of the warmest (May and June) and coldest (March) months were 30.8 and 30.6 and 15.0, respectively (Figure 1C).

- Bárceñas-Ortega, A. E., J. Pantoja-Ambríz, S. Aguirre-Paleo, A. T. Chávez-Bárceñas, S. Salazar-García, y J. L. González-Durán. 2007. Influencia del riego sobre la dinámica de crecimiento de raíces en árboles de aguacate 'Hass'. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 51: 23-29.
- Bernstein, N., A. Meiri, and M. Zilberstaine. 2004. Root growth of avocado is more sensitive to salinity than shoot growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129(2):188-192.
- Bingham, F. T. 1982. Boron. *In*: Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis*, part 2. Second edition. Amer. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Amer. Madison, WI, USA. pp: 431-446.
- Bray, R. H., and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Cossio-Vargas, L. E., S. Salazar-García, I. J. L. González-Durán, y R. Medina-Torres. 2008. Fenología del aguacate 'Hass' en el clima Semicálido de Nayarit. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 14(3): 319-324.
- Dahnke, W. C. 1990. Testing soils for available nitrogen. *In*: Westerman, R. L. (ed.). *Soil Testing and Plant Analysis*. Amer. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Amer. Madison, WI, USA. pp: 120-140.
- Dixon, J., C. B. Lamond, D. B. Smith, and T.A. Elmsly. 2006. Patterns of fruit growth and fruit drop of 'Hass' avocado trees in the Western Bay of Plenty, New Zealand. *New Zealand Avocado Growers' Assn. Ann. Res. Report* 6:47-54.
- Doll, E. C., and R. E. Lucas. 1973. Testing soil for potassium, calcium and magnesium. *In*: Walsh, L. M., and J. D. Beaton (eds). *Soil testing and Plant Analysis*. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, WI, USA. pp: 133-152.
- García-Amaro, E. 1998. Comisión Nacional para el estudio de la Biodiversidad (CONABIO). 'Cartas de clima de la República Mexicana' (Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen). Escala 1:1000 000 México. Shapefile. [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo\\_siglo21/serie\\_lib/modific\\_al\\_sis.pdf](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf) (Consulta: enero 2016).
- Gardiazabal-Irazábal, F., y G. Rosenberg. 1991. Cultivo del Palto. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 201 p.
- Garner, L. C., and C. J. Lovatt. 2016. Physiological factors affecting flower and fruit abscission of 'Hass' avocado. *Scientia Hort.* 199: 32-40.
- Kalmar, D., and E. Lahav. 1976. Water requirements of avocado in the Western Galilee. a) The effect of different irrigation treatments on water consumptions, salt content in the soil and root distribution. *Alon Hanotea.* 30:629-643.
- Lindsay, W. L., and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42: 421-428.
- Lovatt, C. J. 1990. Factors affecting fruit set/early fruit drop in avocado. *California Avocado Soc. Yrbk* 74: 193-199.
- McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. *In*: Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis*, Part 2. Second edition. Amer. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Amer. Madison, WI, USA. pp: 199-223.
- Mena-Volker, F. 2004. Fenología del palto, su uso como base del manejo productivo. 2º Seminario Internacional de Palto. 29 Sep.-1 Oct. Quillota, Chile. Sociedad Gardiazábal y Magdahl Ltda. <http://www.avocadosource.com>. (Consulta Abril 2013).

The highest soil temperature (23.8 °C) was in May and the lowest (14.5 °C) in March in Colorín 1 (Figure 1B). For Ocote Cuate 2 the maximum soil temperature was in May (25.2 °C) and the minimum in January (15.9 °C) and February (16.0 °C) (Figure 1D). In both orchards, the maximum soil temperatures remained between 21 and 27 °C, mentioned by Yusof *et al.* (1969) as adequate for the growth of avocado roots. Likewise, the minimum temperature was higher than 13 °C, pointed out by Whiley *et al.* (1990) as the lower limit from which avocado root growth stops.

## CONCLUSIONS

The 'Méndez' avocado presented two vegetative growth flushes: winter and summer. The summer shoots produced winter flowering, and the winter shoots summer flowering. Floral development was completed in 186 and 221 d for summer and winter shoots, respectively. The maximum root production was in rainy season and the lowest during the maximum growth of the fruit. The fruit drop was slightly higher for the 1<sup>st</sup> flowering (summer). Fruits from the summer flowering period required two more months than those from winter to achieve physiological maturity. The permanent presence of unoccupied vegetative shoots (without fruit) together with the decrease in temperature during spring are key for the summer flowering whose fruit is of high commercial value.

—End of the English version—

-----\*-----

- Nelson, D. W., and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In*: Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis*, Part 2. Second edition. Amer. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Amer. Madison, WI, USA. pp: 539-594.
- Robinson, P. W., M. V. Mickelbart, X. Liu, C. Adams, G. Whitney, and M. L. Arpaia. 2002. Development of a phenological model of avocado tree growth in California. *In*: Drew, R. (ed.). *Proc. Intl. Symp. Trop. and Subtropical Fruits*. Acta Hort. 575: 859-864.
- Rocha-Arroyo, J. L., S. Salazar-García, A. E. Bárceñas-Ortega, I. J. L. González-Durán, y L. E. Cossio-Vargas. 2011a. Fenología del aguacate 'Hass' en Michoacán. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2: 303-316.



- Rocha-Arroyo, J. L., S. Salazar-García, A. E. Bárcenas-Ortega, I. J. L. González-Durán, y R. Medina-Torres. 2011b. Crecimientos vegetativo y reproductivo del aguacate 'Hass' en diversos climas de Michoacán, México. *In: Proc. VII World Avocado Congr. Sept. 5-9, 2011. Cairns, Australia.* pp: 463-445.
- Rocha-Arroyo, J. L., S. Salazar-García, y A. E. Bárcenas-Ortega. 2010. Determinación irreversible a la floración del aguacate 'Hass' en Michoacán. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1: 469-478.
- Salazar García, S. and J. I. Cortés Flores, 1986. Root distribution of mature avocado trees growing in soils of different texture. *Calif. Avocado Soc. Yrbk.* 70: 165-174.
- Salazar-García, S. 2002. Nutrición del Aguacate, Principios y Aplicaciones. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias e Instituto de la Potasa y el Fósforo. Querétaro, México. 165 p.
- Salazar-García, S., and C. J. Lovatt. 1998. GA<sub>3</sub> application alters flowering phenology of the 'Hass' avocado. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 791-797.
- Salazar-García, S., and I. Lazcano-Ferrat. 1999. Diagnóstico nutricional del aguacate 'Hass' bajo condiciones de temporal. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 5: 173-184.
- Salazar-García, S., E. M. Lord, and C.J. Lovatt. 1998. Inflorescence and flower development of the 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) during "on" and "off" crop years. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 537-544.
- Salazar-García, S., E.M. Lord, and C.J. Lovatt. 1999. Inflorescence development of the 'Hass' avocado: commitment to flowering. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124: 478-482.
- Salazar-García, S., L. C. Garner, and C.J. Lovatt. 2013. Reproductive biology. *In: Schaffer, B., B. N. Wolstenholme, and A.W. Whiley (eds). The Avocado, Botany, Production and Uses. 2<sup>nd</sup> Edition CABI, Oxfordshire, UK.* pp: 118-167.
- Salazar-García, S., L. E. Cossio-Vargas, C. J. Lovatt, I. J. L. González-Durán, and M. H. Pérez Barraza. 2006a. Crop load affects vegetative growth flushes and shoot age influences irreversible commitment to flowering of 'Hass' avocado. *HortScience* 41: 1541-1546.
- Salazar-García, S., L. E. Cossio-Vargas, I. J. L. González Durán., and C. J. Lovatt. 2006b. Effect of foliar-applied plant bio-regulators on "June fruit drop", yield and fruit size of 'Hass' avocado. *Acta Hort.* 727: 197-202.
- Salazar-García, S., M. E. Ibarra-Estrada, y R. Medina-Torres. 2016. Tejidos alternativos al foliar para evaluar la respuesta a la fertilización con Zn o B en aguacate 'Hass'. *Rev. Fitotec. Mex.* 39: 247-252.
- SMN. Sistema Meteorológico Nacional. 2016. <http://smn.cna.gob.mx/tools/RECURSOS/Normales8110/NORMAL14030.TXT/> (Consulta: agosto 2016).
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (2011). User's Guide: Mathematical Programming, Version 9.3. Cary, N.C. USA.
- Steel, R. G. D., and J. H. Torrie. 1984. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 2th. Ed. McGraw Hill Publishers. pp: 234-235.
- Thorp, T. G., P. Anderson, and M. Camilleri. 1995. Avocado tree growth cycles - a quantitative model. *In: III Proc. World Avocado Congr. Oct. 22-27, 1995. Tel Aviv, Israel.* pp: 76-79.
- Toerien, J. C. 1979. Seasonal incidence of ring-neck on avocados and possible causes. *South African Avocado Growers' Assn.* 3:49-51.
- Whiley, A. W., and B. N. Wolstenholme. 1990. Carbohydrate management in avocado trees for increased production. *South African Avocado Growers' Assn. Yrbk.* 13: 25-27.
- Whiley, A. W., B. N. Wolstenholme, J. B. Saranah, and P. A. Anderson. 1990. Effect of root temperature on growth of two avocado rootstocks cultivars. *Acta Hort.* 275: 153-160.
- Whiley, A. W., J. B. Saranah, B. W. Cull, and K. G. Pegg. 1988. Manage avocado tree growth cycles for productivity gains. *Qld. Agric. J.* 114: 29-36.
- Wolstenholme, B. N., and A. W. Whiley. 1989. Carbohydrate and phenological cycling as management tools for avocado orchards. *South African Avocado Growers' Assn. Yrbk.* 12: 33-37.
- Yusof, I. M., D. W. Buchanan, and J. F. Gerber. 1969. The response of avocado and mango to soil temperature. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94: 619-621.