

ARTÍCULOS ♦ ARTICLES

- Fenología del aguacate 'Hass' en Michoacán. ♦ Phenology of 'Hass' avocado in Michoacán.
 José Luis Rocha-Arroyo, Samuel Salazar-García, Ana E. Bárcenas-Ortega, Isidro José Luis González-Durán y Luis Eduardo Cossio-Vargas. 303-316
- Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. ♦ Physical and chemical characteristics of blue corn from two races: starch morphology.
 Edith Agama-Acevedo, Yolanda Salinas-Moreno, Glenda Pacheco-Vargas y Luis Arturo Bello-Pérez. 317-329
- Heterosis en maíz del Altiplano de México con diferente grado de divergencia genética. ♦ Heterosis in maize from the Mexican Highlands with different degree of genetic divergence.
 Gilberto Esquivel Esquivel, Fernando Castillo González, Juan Manuel Hernández Casillas, Amalio Santacruz Varela, Gabino García de los Santos, Jorge A. Acosta Gallegos y Antonio Ramírez Hernández. 331-344
- Efecto de laminillas protectoras de polietileno sobre la productividad de banano sin desflora de frutos. ♦ Polyethylene protective lamella effect on banana productivity without fruit deflowering.
 Alfonso Vargas-Calvo y Roberto Rivas-Gould. 345-358
- Estudio entomofaunístico del cultivo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) en Puebla, México. ♦ Entomofaunistic study in of the cultivation of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) in Puebla, Mexico.
 Betzabeth Cecilia Pérez Torres, Agustín Aragón García, Ricardo Pérez Avilés, Luis Ricardo Hernández y Jesús Francisco López Olguín. 359-371
- Selección de genotipos de chile resistentes al complejo patogénico de la marchitez. ♦ Selection of chili pepper genotypes resistant to pathogenic wilt disease complex.
 José Luis Anaya-López, Mario Martín González-Chavira, Emiliano Villordo-Pineda, Raúl Rodríguez-Guerra, Raúl Rodríguez-Martínez, Ramón Gerardo Guevara-González, Lorenzo Guevara-Olvera, Víctor Montero-Tavera e Irineo Torres-Pacheco. 373-383
- Simulación del crecimiento y desarrollo de pimiento (*Capsicum annum* L.) bajo condiciones de invernadero. ♦ Growth and development simulation of pepper (*Capsicum annum* L.) under greenhouse conditions.
 Fabiola Hernández-Hernández, Irineo Lorenzo López Cruz, Ramón Gerardo Guevara-González, Enrique Rico-García, Virginia Rosalía Ocampo-Velásquez, Gilberto Herrera-Ruiz, Mario Martín Gonzalez-Chavira e Irineo Torres-Pacheco. 385-397
- Habilidad de estimación de los métodos de evapotranspiración para una zona semiárida del centro de México. ♦ Suitability of evapotranspiration estimation methods for semiarid central Mexico.
 Rebeca Vázquez-Méndez, Eusebio Jr. Ventura-Ramos y Jorge A. Acosta-Gallegos. 399-415
- Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México. ♦ Biofertilizer of organic coffee in stage of seedlings in Chiapas, Mexico.
 María de Lourdes Adriano Anaya, Ramón Jarquín Gálvez, Carlos Hernández Ramos, Miguel Salvador Figueroa y Clara Teresa Monreal Vargas. 417-431

ENSAYO ♦ ESSAY

- Redes neuronales artificiales en la estimación de la evapotranspiración de referencia. ♦ Artificial neural networks in the estimation of reference evapotranspiration.
 Rocío Cervantes-Osornio, Ramón Arteaga-Ramírez, Mario Alberto Vázquez-Peña, Waldo Ojeda-Bustamante y Abel Quevedo-Nolasco. 433-447

NOTAS DE INVESTIGACIÓN ♦ INVESTIGATION NOTES

- Efectos de condición del fruto y temperatura de almacenamiento en la calidad de granada roja. ♦ Effects of fruit condition and storage temperature on pomegranate quality.
 Edmundo Mercado Silva, Candelario Mondragón Jacobo, Liliana Rocha Peralta y Beatriz Álvarez Mayorga. 449-459
- Algunas características de la entomofauna de suelos sulfatados ácidos en Córdoba, Colombia. ♦ Some characteristics of the entomofauna from acid sulphated soils in Córdoba, Colombia.
 Claudio Fernández-Herrera, Enrique Combatt-Caballero y Hernando Rivera-Jiménez. 461-470

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

Edición Bilingüe ♦ Bilingual Edition

Rev. Mex. Cienc. Agríc. Vol. 2 Núm. 3 p. 303-470 1 de mayo - 30 de junio, 2011



inifap

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias



REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

ISSN: 2007-0934

EDITORA EN JEFA

Dora Ma. Sangerman-Jarquín

EDITOR ASOCIADO

Agustín Navarro Bravo

EDITORES CORRECTORES

Dora Ma. Sangerman-Jarquín

Agustín Navarro Bravo

COMITÉ EDITORIAL INTERNACIONAL

Silvia I. Rondon. University of Oregon

Aristides de León. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-El Salvador C. A.

James Beaver. Universidad de Puerto Rico

Steve Beebe. Centro Internacional de Agricultura Tropical

Elvira González de Mejía. University of Illinois

Carmen de Blas Beorlegui. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria-España

James D. Kelly. University State of Michigan

José Sangerman-Jarquín. University of Yale

Vic Kalnins. University of Toronto

Alan Anderson. Université Laval-Quebec

Bram Govaerts. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

Bernardo Mora Brenes. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-Costa Rica

Charles Francis. University of Nebraska

Valeria Gianelli. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-Argentina

César Azurdía. Universidad de San Carlos-Guatemala

Daniel Debouk. Centro Internacional de Agricultura Tropical

David E. Williams. Biodiversity International-Italy

Raymond Jongschaap. Wageningen University & Research

Hugh Pritchard. The Royal Botanic Gardens, Kew & Wakehurst Place

Javier Romero Cano. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria-España

Marina Basualdo. UNCPBA-Argentina

Moisés Blanco Navarro. Universidad Nacional Agraria-Nicaragua

María Margarita Hernández Espinosa. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)-Cuba

Ignacio de los Ríos Carmenido. Universidad Politécnica de Madrid

Ma. Asunción Martín Lau. Real Sociedad Geográfica-Madrid

Elizabeth L. Villagra. Universidad Nacional de Tucumán-Argentina

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 2, Núm. 3, 1 de mayo - 30 de junio 2011. Es una publicación bimestral editada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Progreso No. 5. Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán, D. F., México. C. P. 04010. www.inifap.gob.mx. Distribuida por el Campo Experimental Valle de México. Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. Teléfono y fax: 01 595 9212681. Editora responsable: Dora Ma. Sangerman-Jarquín. Reserva de derecho al uso exclusivo: 04-2010-012512440200-102. ISSN: 2007-0934. Licitud de título. En trámite. Licitud de contenido. En trámite. Ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Domicilio de impresión: Imagen Digital. Prolongación 2 de marzo, Núm. 22. Texcoco, Estado de México. C. P. 56190. (juancimagen@hotmail.com). La presente publicación se terminó de imprimir en junio de 2011, su tiraje constó de 1 000 ejemplares.

REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

ISSN: 2007-0934

EDITORA EN JEFA

Dora Ma. Sangerman-Jarquín

EDITOR ASOCIADO

Agustín Navarro Bravo

EDITORES CORRECTORES

Dora Ma. Sangerman-Jarquín

Agustín Navarro Bravo

COMITÉ EDITORIAL NACIONAL

Alejandra Covarrubias Robles. Instituto de Biotecnología de la UNAM

Antonio Turrent Fernández. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-INIFAP

Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez. Universidad Autónoma Chapingo

Esperanza Martínez Romero. Centro Nacional de Fijación de Nitrógeno de la UNAM

Leobardo Jiménez Sánchez. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas

Demetrio Fernández Reynoso. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas

Daniel Claudio Martínez Carrera. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas-Campus Puebla

Higinio López Sánchez. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas-Campus Puebla

Ernesto Moreno Martínez. Unidad de Granos y Semillas de la UNAM

Andrés González Huerta. Universidad Autónoma del Estado de México

Delfina de Jesús Pérez López. Universidad Autónoma del Estado de México

Rita Schwentesius de Rindermann. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y Agricultura Mundial de la UACH

Froylán Rincón Sánchez. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

June Simpson Williamson. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN

Guadalupe Xoconostle Cázares. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN

Octavio Paredes López. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN

José F. Cervantes Mayagoitia. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco

Jesús Salvador Ruíz Carvajal. Universidad de Baja California-Campus Ensenada

Silvia D. Peña Betancourt. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

La Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas es una publicación del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Tiene como objetivo difundir los resultados originales derivados de las investigaciones realizadas por el propio Instituto y por otros centros de investigación y enseñanza agrícola de la república mexicana y otros países. Se distribuye mediante canje, en el ámbito nacional e internacional. Los artículos de la revista se pueden reproducir total o parcialmente, siempre que se otorguen los créditos correspondientes. Los experimentos realizados puede obligar a los autores(as) a referirse a nombres comerciales de algunos productos químicos. Este hecho no implica recomendación de los productos citados; tampoco significa, en modo alguno, respaldo publicitario.

La Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas está incluida en el Índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Indizada en: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe (REDALyC), Biblioteca electrónica SciELO-México, The Essential Electronic Agricultural Library (TEEAL-EE. UU.), Scopus, Dialnet, Agrindex, Bibliography of Agriculture, Agrinter y Periódica.

Reproducción de resúmenes en: Field Crop Abstracts, Herbage Abstracts, Horticultural Abstracts, Review of Plant Pathology, Review of Agricultural Entomology, Soils & Fertilizers, Biological Abstracts, Chemical Abstracts, Weed Abstracts, Agricultural Biology, Abstracts in Tropical Agriculture, Review of Applied Entomology, Referativnyi Zhurnal, Clase, Latindex, Hela, Viniti y CAB International.

Portada: aguacate.

REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

ISSN: 2007-0934

EDITORA EN JEFA

Dora Ma. Sangerman-Jarquín

EDITOR ASOCIADO

Agustín Navarro Bravo

EDITORES CORRECTORES

Dora Ma. Sangerman-Jarquín

Agustín Navarro Bravo

ÁRBITROS DE ESTE NÚMERO

Flavio Capraro. Universidad Nacional de San Juan, Argentina

Ignacio Llanos Triviño. Centro de Investigación y Formación Agraria, España

Alejandro Barrientos Priego. Universidad Autónoma Chapingo

Roberto Valdivia Bernal. Universidad Autónoma de Nayarit

Margarita Tadeo Robledo. Universidad Nacional Autónoma de México

Ricardo Lobato Ortiz. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas

Juan Virgen Vargas. INIFAP

Edgardo Federico Hernández Valdés. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

J. Jesús García Zavala. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas

Mario Araya. Turrialba, Costa Rica

Luis Octavio Solís Sánchez. Universidad Autónoma de Zacatecas

Martiniano Castro Popoca. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas

Ma. Fabiola León Galván. Universidad de Guanajuato

Ángel Villegas Monter. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas

Gustavo Almaguer Vargas. Universidad Autónoma Chapingo

Mauro Zamora Díaz. INIFAP

Abel Quevedo Nolasco. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas

José Francisco Santiaguillo Hernández. Universidad Autónoma Chapingo

Ernesto García Pineda. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Silvia I. Rondon. Oregon State University

Abel Muñoz Orozco. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas

Luis Alfonso Sáenz Carbonell. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán, A. C.

Valentín Robledo Torres. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Edith Agama Acevedo. Instituto Politécnico Nacional

Pablo Miguel Coras Merino. Universidad Autónoma Chapingo

Pedro Cadena Iñiguez. INIFAP

Teresa Susana Herrera Flores. Universidad Politécnica de Pénjamo

CONTENIDO ♦ CONTENTS

| ARTÍCULOS ♦ ARTICLES | Página |
|--|---------|
| <p>Fenología del aguacate ‘Hass’ en Michoacán. ♦ Phenology of ‘Hass’ avocado in Michoacán. José Luis Rocha-Arroyo, Samuel Salazar-García, Ana E. Bárcenas-Ortega, Isidro José Luis González-Durán y Luis Eduardo Cossio-Vargas.</p> | 303-316 |
| <p>Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. ♦ Physical and chemical characteristics of blue corn from two races: starch morphology. Edith Agama-Acevedo, Yolanda Salinas-Moreno, Glenda Pacheco-Vargas y Luis Arturo Bello-Pérez.</p> | 317-329 |
| <p>Heterosis en maíz del Altiplano de México con diferente grado de divergencia genética. ♦ Heterosis in maize from the Mexican Highlands with different degree of genetic divergence. Gilberto Esquivel Esquivel, Fernando Castillo González, Juan Manuel Hernández Casillas, Amalio Santacruz Varela, Gabino García de los Santos, Jorge A. Acosta Gallegos y Antonio Ramírez Hernández.</p> | 331-344 |
| <p>Efecto de laminillas protectoras de polietileno sobre la productividad de banano sin desflora de frutos. ♦ Polyethylene protective lamella effect on banana productivity without fruit deflowering. Alfonso Vargas-Calvo y Roberto Rivas-Gould.</p> | 345-358 |
| <p>Estudio entomofaunístico del cultivo de amaranto (<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.) en Puebla, México. ♦ Entomofaunistic study in of the cultivation of amaranth (<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.) in Puebla, Mexico. Betzabeth Cecilia Pérez Torres, Agustín Aragón García, Ricardo Pérez Avilés, Luis Ricardo Hernández y Jesús Francisco López Olguín.</p> | 359-371 |
| <p>Selección de genotipos de chile resistentes al complejo patogénico de la marchitez. ♦ Selection of chili pepper genotypes resistant to pathogenic wilt disease complex. José Luis Anaya-López, Mario Martín González-Chavira, Emiliano Villordo-Pineda, Raúl Rodríguez-Guerra, Raúl Rodríguez-Martínez, Ramón Gerardo Guevara-González, Lorenzo Guevara-Olvera, Víctor Montero-Tavera e Irineo Torres-Pacheco.</p> | 373-383 |
| <p>Simulación del crecimiento y desarrollo de pimiento (<i>Capsicum annumm</i> L.) bajo condiciones de invernadero. ♦ Growth and development simulation of pepper (<i>Capsicum annumm</i> L.) under greenhouse conditions. Fabiola Hernández-Hernández, Irineo Lorenzo López Cruz, Ramón Gerardo Guevara-González, Enrique Rico-García, Virginia Rosalía Ocampo-Velásquez, Gilberto Herrera-Ruiz, Mario Martín Gonzalez-Chavira e Irineo Torres-Pacheco.</p> | 385-397 |
| <p>Habilidad de estimación de los métodos de evapotranspiración para una zona semiárida del centro de México. ♦ Suitability of evapotranspiration estimation methods for semiarid central Mexico. Rebeca Vásquez-Méndez, Eusebio Jr. Ventura-Ramos y Jorge A. Acosta-Gallegos.</p> | 399-415 |
| <p>Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México. ♦ Biofertilizer of organic coffee in stage of seedlings in Chiapas, Mexico. María de Lourdes Adriano Anaya, Ramón Jarquín Gálvez, Carlos Hernández Ramos, Miguel Salvador Figueroa y Clara Teresa Monreal Vargas.</p> | 417-431 |

CONTENIDO ♦CONTENTS

| | Página |
|--|---------|
| ENSAYO ♦ ESSAY | |
| Redes neuronales artificiales en la estimación de la evapotranspiración de referencia. ♦ Artificial neural networks in the estimation of reference evapotranspiration. Rocío Cervantes-Osornio, Ramón Arteaga-Ramírez, Mario Alberto Vázquez-Peña, Waldo Ojeda-Bustamante y Abel Quevedo-Nolasco. | 433-447 |
| NOTAS DE INVESTIGACIÓN ♦ INVESTIGATION NOTES | |
| Efectos de condición del fruto y temperatura de almacenamiento en la calidad de granada roja. ♦ Effects of fruit condition and storage temperature on pomegranate quality. Edmundo Mercado Silva, Candelario Mondragón Jacobo, Liliana Rocha Peralta y Beatriz Álvarez Mayorga. | 449-459 |
| Algunas características de la entomofauna de suelos sulfatados ácidos en Córdoba, Colombia. ♦ Some characteristics of the entomofauna from acid sulphated soils in Córdoba, Colombia. Claudio Fernández-Herrera, Enrique Combatt-Caballero y Hernando Rivera-Jiménez. | 461-470 |

FENOLOGÍA DEL AGUACATE 'HASS' EN MICHOACÁN*

PHENOLOGY OF 'HASS' AVOCADO IN MICHOACÁN

José Luis Rocha-Arroyo¹; Samuel Salazar-García^{2§}; Ana E. Bárcenas-Ortega³; Isidro J. L. González-Durán² y Luis E. Cossio-Vargas²

¹Campo Experimental Uruapan. INIFAP. Av. Latinoamericana 1101, Uruapan, Michoacán. C. P. 60150. Tel. 01 452 5237392. (rocha.joseluis@inifap.gob.mx). ²Campo Experimental Santiago Ixcuintla. INIFAP. Santiago Ixcuintla, Nayarit. A. P. 100. C. P. 63300. Tel. 01 323 2352031. (gonzalez.joseluis@inifap.gob.mx), (samuelsalazar@prodigy.net.mx). ³Facultad de Agrobiología. UMSNH. Paseo Lázaro Cárdenas, Esq. Berlín s/n, Uruapan, Michoacán. C. P. 60170. Tel. 01 452 5236474. (abarcenas@prodigy.net.mx). [§]Autor para correspondencia: samuelsalazar@prodigy.net.mx.

RESUMEN

Existe poca información sistematizada sobre fenología del aguacate 'Hass' en Michoacán y es importante para aumentar la eficiencia de las prácticas de manejo de los huertos y mejorar su productividad. El objetivo de este estudio fue elaborar modelos fenológicos a partir de las fechas de ocurrencia de los principales flujos de crecimiento, tanto de la parte aérea como del sistema radical, en distintas zonas productoras de 'Hass' en el estado de Michoacán. La investigación se desarrolló durante 2006-2008, en 14 huertos adultos de aguacate 'Hass' cultivados con riego y sin riego en siete climas de Michoacán. En todos los climas y tanto en huertos con riego como sin riego, 'Hass' presentó tres flujos de crecimiento vegetativo: invierno (mayor intensidad), primavera y verano (menor intensidad) y de tres a cuatro flujos florales: floración loca, adelantada, normal y marceña. En brotes que produjeron floración loca el desarrollo floral requirió: 8.5 a 9.5, 5.5 a 6 y 2.5 a 3.5 meses en los flujos de invierno, primavera y verano, respectivamente, mientras que en brotes que produjeron floración normal el requerimiento fue de: 13 a 13.5, 9.5 a 10.5 y 7 a 7.5 meses, en los mismos flujos. En la floración normal y marceña el crecimiento del fruto duró 8-9 meses, donde la marceña fue 4% a 11% menor que la normal. En climas cálido subhúmedo y templado subhúmedo, el primer flujo de producción de

ABSTRACT

There is little systematic information on phenology of 'Hass' avocado in Michoacán and it is important to increase the efficiency of orchard's management practices to improve its productivity. The goal of this study was to develop phenological models from the dates of occurrence of the main shoot and root growth flushes in different 'Hass' production areas of the state of Michoacán. The study was conducted during 2006-2008 in 14 mature 'Hass' avocado orchards grown under irrigation and without irrigation in seven climates of Michoacán. In all climates and in both irrigated and non irrigated orchards, 'Hass' presented three flushes of vegetative growth: winter (higher intensity), Spring and Summer (lower intensity) and three to four flowering flushes: crazy flowering, advanced, normal and marceña. The complete floral development process for shoots that produced crazy flowering required: 8.5 to 9.5, 5.5 to 6, and 2.5 to 3.5 months for the Winter, Spring and Summer flushes, respectively. Shoots that produced normal flowering needed: 13 to 13.5, 9.5 to 10.5, and 7 to 7.5 months, for the same flushes, respectively. Fruit growth set by the normal and marceña flowering lasted 8-9 months and that from the marceña was 4% to 11% lower than the ones from the normal. In the warm subhumid and temperate

* Recibido: octubre de 2010
Aceptado: mayo de 2011

raíces alcanzó su máximo en mayo y junio y el segundo en diciembre, mientras que en climas semicálido subhúmedo y húmedo, ambos flujos ocurrieron de marzo-abril y septiembre-octubre, respectivamente. El fruto de floración normal fue 7% más pequeño en huertos sin riego que con riego. Hubo dos flujos de producción de raíces, en huertos sin riego ocurrieron en marzo y septiembre y con riego en abril y octubre. En todos los climas las temperaturas medias del aire variaron de 14°C a 24°C y las del suelo de 13°C a 21°C.

Palabras clave: *Persea americana*, floración, flujos vegetativos, fruto, raíces.

INTRODUCCIÓN

En Michoacán, México, se encuentra la región productora de aguacate más grande del mundo, con una superficie superior a 103 mil hectáreas, distribuidas en 45 municipios (SIAP, 2009) y en altitudes que varían de 1 000 a más de 2 600 m. En esta región predominan los suelos Andosoles, con profundidades que varían de 0.8 m a más de 3 m y tienen gran capacidad para retener humedad de las lluvias durante la época de sequía (FitzPatrick, 1984). Esta característica de los suelos permite cultivar aguacates sin riego; sin embargo, en las zonas de baja altitud con climas cálido o semicálido y suelos diferentes a los Andosoles, el riego de auxilio es necesario (Tapia-Vargas, 2007).

En la mayoría de los países productores el cv. Hass produce uno o dos flujos vegetativos y sólo un flujo floral durante el año (Thorp *et al.*, 1993). En Chile, Nueva Zelanda, Sudáfrica y Perú, anualmente se observan dos flujos vegetativos importantes que se intercalan con los flujos de crecimiento de raíces y normalmente sólo ocurre un flujo floral (Mena-Volker, 2004; Dixon *et al.*, 2008). En California, EE. UU y Nayarit, México, se presentan dos flujos vegetativos y un flujo de floración al año. En ambos lugares el crecimiento de raíces ocurre todo el año; sin embargo, en California se ha registrado la mayor actividad de raíces en junio-noviembre (época de estío pero se aplican riegos) (Robinson *et al.*, 2002) y para Nayarit en junio-septiembre (época de lluvias y sin riego el resto del año) (Cossio-Vargas *et al.*, 2008). En Australia, este mismo cultivar de aguacate suele presentar tres o más flujos vegetativos al año y dos flujos de floración (Thorp *et al.*, 1993).

subhumid climates the first root flush peaked in May and June and the second in December, while in the semiwarm subhumid and humid climates, both flushes occurred in March-April and September-October, respectively. The fruit of the normal flowering was 7% smaller in no irrigated than in with irrigated. In with irrigated and no irrigated orchards there were two flushes of root production, in the no irrigated occurred in March and September and in the with irrigated in April and October. In all climates average air temperatures ranged from 14°C to 24°C and in the soil from 13°C to 21°C.

Key words: *Persea americana*, flowering vegetative, flushes, fruit, roots.

INTRODUCTION

In Michoacán, Mexico, there is the largest avocado producer region in the world with an area exceeding 103 thousand hectares, embracing 45 municipalities (SIAP, 2009) and at altitudes ranging from 1 000 to over 2 600 m. In this region predominates the Andosol type of soil, with depths ranging from 0.8 m to over 3 m and has a great capacity to retain rain's moisture during the dry season (FitzPatrick, 1984). This property allows to cultivate avocados without irrigation; however, in low-altitude areas with warm or semiwarm climate and non-Andosols soil, supplemental irrigation is necessary (Tapia-Vargas, 2007).

In most producing countries cv. Hass produces one or two vegetative flushes and only one flowering flush during the year (Thorp *et al.*, 1993). In Chile, New Zealand, South Africa and Peru, there are two major vegetative flushes interspersed with root growth flushes and usually only one flowering flush occurs per year (Mena-Volker, 2004; Dixon *et al.*, 2008). In California, United States of America and Nayarit, Mexico there occur two vegetative flushes and one flowering flush per year. In both places root growth occurs year round, but in California there has been observed an increased activity of roots from June to November (dry season when irrigation is supplied) (Robinson *et al.*, 2002) and in June-September (rainy season without irrigation the rest of the year) in Nayarit (Cossio-Vargas *et al.*, 2008). In Australia, the same avocado cultivar usually has three or more vegetative flushes per year and two flowering flushes (Thorp *et al.*, 1993).

La diversidad de climas (cálidos, semicálidos o templados) donde se cultiva 'Hass' en Michoacán propicia que los árboles produzcan hasta tres flujos vegetativos y cuatro periodos de floración durante el año (Salazar-García *et al.*, 2005). Las observaciones de los autores indican que en esta región, la emisión de brotes vegetativos en 'Hass' suele observarse durante 7 a 10 meses y la floración hasta nueve meses. Este comportamiento fenológico origina la presencia simultánea de fruto de diferentes edades en el árbol, que es cosechado durante la mayor parte del año en los distintos climas de la región.

Los modelos o diagramas fenológicos ayudan a entender el comportamiento fenológico del aguacate (Wolstenholme y Whiley, 1989), ya que en éstos se describen los diferentes eventos que ocurren en el árbol durante el año (Whiley, 1990). Conociendo la duración e intensidad de las distintas fases fenológicas y sus interrelaciones en el tiempo, se pueden mejorar las prácticas de manejo de los huertos, como fertilizaciones, podas y riegos, entre otras, así como modificar la fecha de ocurrencia e intensidad de los flujos vegetativos y reproductivos para mejorar la productividad de los huertos.

El objetivo de este estudio fue elaborar modelos fenológicos a partir de las fechas de ocurrencia de los principales flujos de crecimiento, tanto de la parte aérea como del sistema radical, en distintas zonas productoras de 'Hass' en Michoacán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de los huertos. La investigación se realizó de enero 2006 a febrero 2008 en 14 huertos comerciales de 'Hass', injertado sobre portainjertos originados por semilla de origen desconocido de la raza Mexicana. Los árboles tenían de 8 a 18 años de edad al inicio del estudio y presentaban una altura no mayor a 7 m, sin entrecruzamiento de copas y con historial de producción mayor que 100 kg árbol⁻¹ año⁻¹.

Del total de huertos seleccionados, siete contaban con riego y siete sólo disponían de la humedad de las lluvias (temporal). Los huertos fueron elegidos en 11 localidades que exploraron siete tipos climáticos (INEGI, 1985), que representan más de 98% de la superficie establecida con aguacate en Michoacán (Cuadro 1). Los climas (A)C(w1)(w) y (A)C(w2)(w), fueron agrupados como uno sólo, ya que sólo difieren en el contenido de humedad relativa presente en una parte del año.

The diversity of climates (warm, semiwarm or temperate) where 'Hass' is cultivated in Michoacán, favors up to three vegetative flushes and four flowering flushes during the year (Salazar-García *et al.*, 2005). Observations of the authors indicate that in this region, the production of vegetative shoots in 'Hass' is usually observed for 7 to 10 months and nine months of flowering. This phenological behavior causes the simultaneous presence of fruit of different ages on the tree, which is harvested during most of the year in the different climates of the region.

Phenological models or diagrams help to understand the phenological behavior of avocado (Wolstenholme and Whiley, 1989), because they describe the different events that occur in the tree during the year (Whiley, 1990). Knowing the duration and intensity of phenological phases and their relationships in time, orchard management practices can be improved, such as fertilization, pruning, irrigation, etc, as well as the modification of the date of occurrence and intensity of vegetative and reproductive flushes to improve orchard's productivity.

The aim of this study was to develop phenological models using the dates of occurrence of the main growth flushes of both canopy and root system in different producing areas of 'Hass' in Michoacán.

MATERIALS AND METHODS

Orchards characteristics. The study was conducted from January 2006 to February 2008 in 14 commercial 'Hass' avocado orchards grafted to rootstocks originated from seed of unknown origin from the Mexican race. At the beginning of this study, the trees were 8 to 18 years old and were no higher than 7 m, without canopy crowding and a production record of more than 100 kg tree⁻¹ year⁻¹.

Half of the selected orchards were under irrigation and the other half were under rainfed conditions. The orchards were selected in 11 localities which explored seven different climates (INEGI, 1985), representing over 98% of the Michoacán avocado established area (Table 1). Climates (A)C(w1)(w) and (A)C(w2)(w) were grouped as one, as they only differ in the ambient relative humidity in one part of the year.

Cuadro 1. Características de las localidades donde se estudió la fenología del aguacate 'Hass'.
Table 1. Characteristics of the localities where the phenology of 'Hass' avocado was studied.

| Clima | (%) de la superficie total ^y | Localidad ^x | Municipio | Condición de humedad | Altitud (m) |
|---|---|------------------------|-----------|----------------------|-------------|
| Cálido subhúmedo Aw1(w) | 0.12 | Matangarán | Uruapan | Con riego | 1450 |
| Semicálido subhúmedo, el más seco A(C)(w0)(w) | 1.62 | Barranquillas | Tancítaro | Con riego | 1553 |
| | | Barranquillas | Tancítaro | Sin riego | 1430 |
| Semicálido subhúmedo, más húmedo (A)C(w1)(w)+(A)C(w2)(w) | 57.03 | Patámbaro (w1) | Tancítaro | Sin riego | 1940 |
| | | Araparícuaro (w1) | Tancítaro | Con riego | 1812 |
| | | Araparícuaro (w2) | Tancítaro | Sin riego | 2055 |
| | | Tecario (w1) | Tacámbaro | Con riego | 1623 |
| Semicálido húmedo (A)C(m)(w) | 10.22 | Cheranguerán | Uruapan | Con riego | 1815 |
| | | La Basilia | Uruapan | Sin riego | 1875 |
| Templado subhúmedo C(w2)(w) | 25.99 | Peribán | Peribán | Sin riego | 2053 |
| | | Araparícuaro | Tancítaro | Sin riego | 1990 |
| | | San Antonio de Viña | Tacámbaro | Con riego | 2031 |
| Templado húmedo C(m)(w) | 3.62 | Zirapóndiro | Uruapan | Con riego | 2065 |
| | | San Lorenzo | Uruapan | Sin riego | 2140 |
| Total | 98.6 | | | | |

^z=INEGI (1985); ^y=Anguiano-Contreras *et al.* (2006); ^x=simbología entre paréntesis indica el nivel de humedad ambiental en el clima semicálido subhúmedo, más húmedo.

Flujos de crecimiento vegetativo. En cada huerto se escogieron 10 árboles y en cada árbol cinco ramas de 1 a 1.5 m de longitud distribuidas alrededor del árbol. Para identificar los flujos de crecimiento vegetativo (FV) y sus crecimientos subsecuentes, en cada rama seleccionada se marcaron de 15 a 20 brotes del FV invierno. Conforme iban emergiendo los siguientes FV (primavera, verano), éstos fueron etiquetados con listones de distinto color. El tipo de crecimiento producido (brotes vegetativos, florales o inactivos) por los brotes de los distintos FV, fue cuantificado al final de cada periodo estacional de crecimiento durante dos años y se calcularon los porcentajes relativos.

Desarrollo floral. Aunque en Michoacán el cv. Hass puede presentar hasta cuatro flujos de floración: loca (agosto-septiembre), adelantada o adelantada (octubre-diciembre), normal (diciembre-febrero) y marceña (febrero-marzo), en el presente estudio sólo fueron consideradas las floraciones loca y normal.

El estado de desarrollo floral de las yemas apicales en los brotes de los tres FV (invierno, primavera y verano) fue evaluado en 10 árboles por huerto mediante el muestreo quincenal de una yema por flujo vegetativo por árbol. El

Vegetative growth flushes. In each orchard, 10 trees were chosen and five branches on each tree 1 to 1.5 m in length distributed around the tree. To identify the vegetative growth flushes (FV) and its subsequent growth in each selected branch, there were marked 15 to 20 shoots of Winter FV. As the following FV's emerged (Spring, Summer), they were tagged with different colored ribbons. The type of growth produced (vegetative, floral or inactive shoots) by the different FV's shoots, was quantified at the end of each seasonal period of growth for two years and the relative percentages were calculated to generate graphs.

Floral development. Although in Michoacán the cv. Hass can present up to four flowering flushes: crazy (August-September), advanced or early (October-December), normal (December-February) and marceña (February-March), in the present study only crazy and normal blooms were considered.

The stage of floral development of apical buds on shoots of the three FV's (Winter, Spring and Summer) was assessed on 10 trees per orchard by a biweekly sampling of one bud per vegetative flush on each tree. Sampling

muestreo inició cuando las yemas estaban en estado S-1 (yema cerrada y puntiaguda localizada dentro de las dos últimas hojas sin expandir del brote), de acuerdo con la escala visual de Salazar-García *et al.* (1998).

Las yemas colectadas fueron fijadas en FAA (formaldehído: ácido acético glacial: etanol, 5:5:90, v:v:v) y después fueron observadas en un microscopio Fisher Stereomaster Zoom Modelo FW-99-25-1217 (Fisher Scientific, USA) y clasificadas según la escala visual de Salazar-García *et al.* (1998). Los valores del desarrollo floral obtenidos para cada tipo de brote en cada fecha de muestreo y en los dos años fueron ajustados mediante regresión y luego se obtuvieron los porcentajes relativos acumulados para graficarlos.

Crecimiento del fruto. El crecimiento del fruto originado por las floraciones normal y marceña fue cuantificado de marzo a diciembre 2006, en tres huertos con riego y tres sin riego, ubicados en los climas semicálido subhúmedo (A)C(w1)(w), semicálido húmedo (A)C(m)(w) y templado subhúmedo C(w2)(w). En cada huerto fueron seleccionados cinco árboles y en cada árbol se etiquetaron 50 frutos de cada época de floración. Mensualmente se midió la longitud de los frutos desde que tenían 2 cm de longitud y concluyó cuando el mesocarpio del fruto alcanzó 23% de materia seca (madurez de corte). Los datos se promediaron por clima, tipo de floración y condición de humedad y se obtuvo el porcentaje relativo acumulado para obtener la dinámica de crecimiento.

Producción de raíces. La producción de raíces fue cuantificada en tres huertos con riego y cuatro sin riego, en los climas cálido subhúmedo Aw1(w), semicálido subhúmedo (A)C(w1)(w), semicálido húmedo (A)C(m)(w) y templado subhúmedo C(w2)(w). En cada huerto se escogieron 12 árboles y mensualmente se muestrearon dos árboles por huerto, extrayendo las raíces jóvenes encontradas en una excavación de 40*40*40 cm realizada en la zona de sombreado del árbol. Después de lavadas, las raíces fueron secadas en un horno con aire forzado a 70 °C por 72 h para obtener su peso seco. Los datos obtenidos en los dos años para cada clima y condición de humedad fueron depurados con el Programa Boxplot del Paquete Estadístico Computacional Minitab 14 y después promediados por fecha de muestreo.

Temperaturas del aire y del suelo. En cada huerto se registraron las temperaturas del aire y del suelo (a 30 cm de profundidad) en intervalos de una hora, mediante registradores automatizados operados con baterías HOBO H8 (Onset Computer, Witzprod, Englewood Cliffs, NJ, USA).

began when the buds were at stage S-1 (closed and pointed bud, located within the last two unexpanded leaves of the shoot), according to the visual scale of Salazar-García *et al.* (1998).

The collected buds were fixed in FAA (formaldehyde: glacial acetic acid: ethanol, 5:5:90, v:v:v) and were then observed under a Fisher Stereomaster Zoom Model FW-99-25-1217 microscope (Fisher Scientific, USA) and classified according to the visual scale of Salazar-García *et al.* (1998). Floral development values obtained for each type of shoot in each sampling date and in both years were adjusted by regression and then accumulated relative percentages were obtained for graphing.

Fruit growth. Fruit growth set by normal and marceña blooms was quantified from March to December 2006 in three orchards irrigated and three non-irrigated (rainfed), located in semiwarm subhumid (A)C(w1)(w), semiwarm humid (A)C(m)(w) and temperate subhumid C(w2)(w). In each orchard, five trees were selected and in each tree 50 fruits of each flowering season were tagged. Fruit length was measured monthly since they were 2 cm long and ended when fruit mesocarp reached 23% dry matter (harvest maturity). The data were averaged by climate, type of flowering and soil moisture condition and obtained the cumulative relative percentage in order to obtain the dynamics of growth.

Root production. The production of new roots was quantified at three irrigated orchards and four without irrigation, in warm sub-humid Aw1(w), semiwarm subhumid (A)C(w1)(w), semiwarm humid (A)C(m)(w) and temperate subhumid C(w2)(w) climates. In each orchard 12 trees were chosen and two trees were sampled monthly extracting the young roots found in a 40*40*40 cm excavation made in the canopy shade area. After washing, the roots were dried in a forced air oven at 70 °C for 72 h to obtain their dry weight. The data obtained in the two years for each climate and soil moisture conditions were purged with the Boxplot Program of the Computational Statistical Package Minitab 14 and then averaged by sampling date.

Air and soil temperatures. In each orchard there were recorded air and soil temperatures (30 cm depth) at hourly intervals, using battery operated automated loggers HOBO H8 (Onset Computer, Witzprod, Englewood Cliffs, NJ, USA).

RESULTADOS

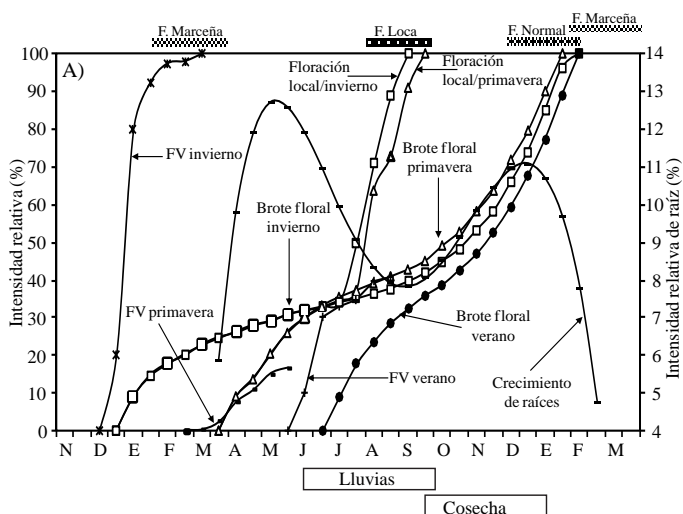
Comportamiento fenológico según el clima

Flujos vegetativos. En los seis climas estudiados ‘Hass’ presentó tres flujos vegetativos (invierno, primavera y verano), cada uno con variaciones en la fecha de inicio, duración e intensidad (Figura 1 y 2). El FV invierno inició en noviembre-diciembre y fue el más intenso (100%) en todos los climas.

El FV primavera inició en febrero-marzo, pocos días antes de concluir el FV invierno o al término del mismo y su ocurrencia varió desde 11% de los brotes en los climas templado subhúmedo y húmedo (Figuras 2B y 2C), hasta 44% en el semicálido subhúmedo (el más seco; Figura 1B); este FV fue originado por brotes del FV invierno previo y coincidió con el primer flujo de crecimiento de raíces (Figuras 1A, 1C, 2A, 2B).

El FV verano comenzó en junio, al finalizar el FV primavera y cuando las lluvias habían iniciado. Su intensidad varió de 4% en el clima semicálido húmedo (Figura 2A) a 63% en el semicálido subhúmedo, el más seco (Figura 1B).

El origen de este FV fueron los brotes de los FV de invierno y primavera previos y coincidió con el descenso del primer flujo de crecimiento de raíces (Figuras 1A, 1C, 2A, 2B), cuando el fruto estaba por finalizar su crecimiento (Figuras 1C, 2A, 2B).



RESULTS

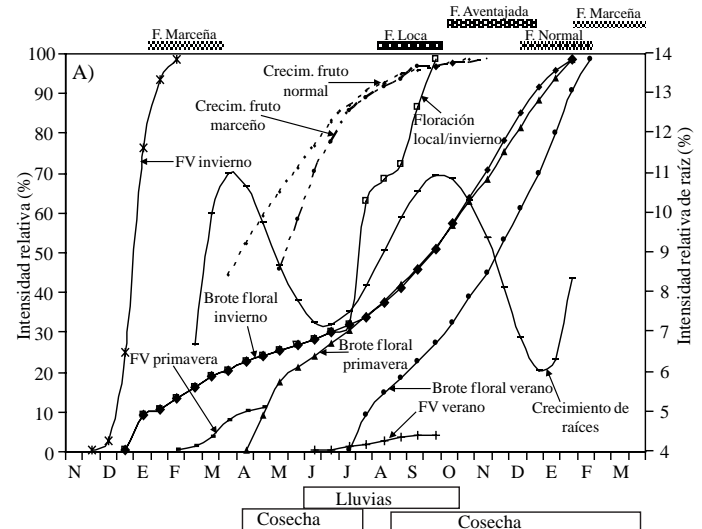
Phenology in different climates

Vegetative flushes. In the six studied climates ‘Hass’ presented three vegetative flushes (Winter, Spring and Summer), each with variations in the start date, duration and intensity (Figures 1 and 2). The Winter FV started in November-December and was the most intense in all climates, with an intensity of 100%.

The Spring FV started in February-March, just days before the end of the Winter FV or at the end of it and its occurrence ranged from 11% of shoots in temperate subhumid and humid climates (Figures 2B and 2C), up to 44% in the semiwarm subhumid climate (the driest, Figure 1B). This FV was produced by shoots of the previous Winter FV and coincided with the first flush of root growth (Figures 1A, 1C, 2A, 2B).

The Summer FV began in June, at the end of the Spring FV, when the rains had begun. Its intensity varied from 4% in the semiwarm humid climate (Figure 2A) to 63% in the semiwarm subhumid, the driest one (Figure 1B).

The origin of this FV, were the previous Winter and Spring FV's shoots and coincided with the decrease of the first root growth flush (Figures 1A, 1C, 2A, 2B), when the fruit was about to end its growth (Figures 1C, 2A, 2B).



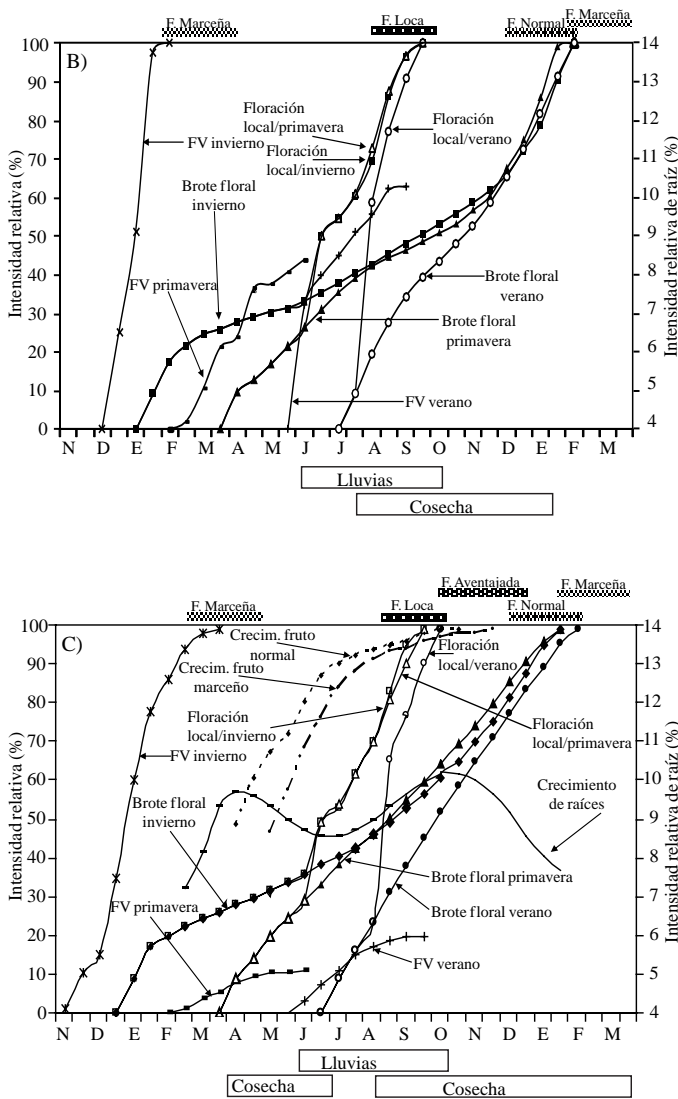


Figura 1. Fenología del aguacate 'Hass' en los climas: A) cálido subhúmedo Aw1(w); B) semicálido subhúmedo A(C)(w0)(w) el más seco; y C) semicálido subhúmedo (A) C(w1)(w)+(A)(C)(w2)(w) el más húmedo, en Michoacán.
Figure 1. Phenology of 'Hass' avocado in the climates: A) warm subhumid Aw1(w); B) semiwarm subhumid A(C)(w0)(w) the driest one; and C) semiwarm subhumid (A) C(w1)(w)+(A)(C)(w2)(w) the wettest one in Michoacán.

Desarrollo de la floración loca (FL) y normal (FN). El comienzo de la formación de yemas florales varió con el FV, aunque en todos los casos comenzó cuando las yemas apicales estaban en estado S-1 (yema cerrada y puntiaguda localizada dentro de las dos últimas hojas sin expandir del brote) (Salazar-García *et al.*, 1998). Esto correspondió al segundo punto de las curvas de desarrollo floral en las Figuras 1 y 2. En brotes de los FV invierno y primavera la distinción

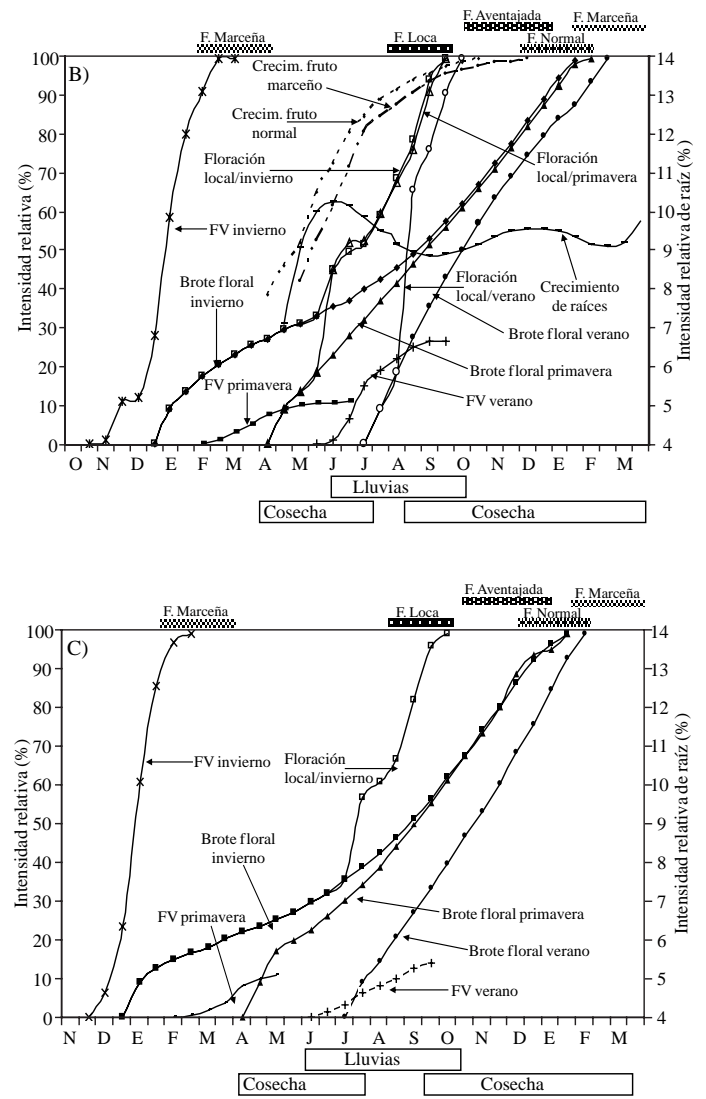


Figura 2. Fenología del aguacate 'Hass' en los climas: A) semicálido húmedo (A)C(m)(w); B) templado subhúmedo C(w2)(w); y C) templado húmedo C(m)(w), en Michoacán.
Figure 2. Phenology of 'Hass' avocado in different climates: A) semiwarm humid (A)C(m)(w); B) temperate subhumid C(w2)(w); and C) temperate humid C(m)(w), in Michoacán.

Crazy (FL) and normal (FN) flowering development. The beginning of floral bud formation varied with the FV, although in all cases it began when the apical buds were at stage S-1 (closed and pointed bud, located within the last two leaves without expanding of the shoot) (Salazar-García *et al.*, 1998). This corresponded to the second point of the floral development curves in Figures 1 and 2. In winter and spring FV's shoots, the visual distinction from the shoots

visual de los brotes que producirían FL ocurrió entre el fin de mayo y el comienzo de julio, mientras que en los brotes de verano, esto fue posible 30 a 60 días más tarde (final de julio).

La duración del proceso completo de desarrollo floral, desde S-1 hasta S-11 (anthesis), varió con el FV. En los climas estudiados los brotes que produjeron FL requirieron de 8.5 a 9.5, 5.5 a 6, y 2.5 a 3.5 meses para los FV invierno, primavera y verano, respectivamente (Figuras 1 y 2). En brotes que produjeron FN, el tiempo requerido fue de 13 a 13.5, 9.5 a 10.5, y 7 a 7.5 meses para los mismos FV, respectivamente.

Crecimiento del fruto de la floración normal (FN) y marceña (FM). En los tres climas incluidos en este estudio, la anthesis se concentró alrededor del 20 de enero en la FN y del 15 de marzo en la FM. En ambos flujos de floración el crecimiento del fruto duró de ocho a nueve meses. El mayor crecimiento ocurrió desde el inicio de su medición hasta el final de agosto (Figuras 1C, 2A, 2B), periodo en el cual el fruto de la FN creció 94 a 96% de su tamaño final y la FM de 91 a 95%. El fruto de la FM tuvo menor longitud final (4%, 9% y 11%, en los climas templado subhúmedo, semicálido subhúmedo y semicálido húmedo, respectivamente), respecto a la FN.

Producción de raíces. La producción de raíces ocurrió todo el año, aunque fue notoria la presencia de dos flujos principales que variaron con el clima. En los climas cálido subhúmedo (Figura 1A) y templado subhúmedo (Figura 2B), el primer flujo fue el más intenso y se presentó en abril-julio, en tanto que el segundo flujo ocurrió en octubre-enero. En los climas semicálido subhúmedo (más húmedo) y semicálido húmedo, los dos flujos de crecimiento de raíces fueron de intensidad similar; el primero se presentó en marzo-mayo y el segundo ocurrió en julio-diciembre (Figuras 1C, 2A).

Comportamiento fenológico en huertos con riego (HCR) y sin riego (HSR).

Los FV primavera y verano fueron más intensos en los HCR que en HSR. En los HSR el desarrollo floral en brotes de FV invierno y primavera, inició dos semanas antes que en HCR y esa diferencia se mantuvo hasta la anthesis en la FL y FN (Figuras 3A, 3B). En brotes del FV verano el desarrollo floral inició igual en HCR y HSR, pero tanto en la FL como en la FN la anthesis se adelantó casi dos semanas en HSR.

El crecimiento longitudinal del fruto originado por cada tipo de floración (normal y marceña) fue similar en HCR y HSR (Figuras 3A, 3B). Desde la medición inicial hasta el 15 de

that would produce FL occurred between late May and early July, while in Summer shoots, it was possible 30-60 days later (late July).

The duration of the entire process of flower development, from S-1 to S-11 (anthesis), varied with the FV. In the studied climates, shoots that produced FL required from 8.5 to 9.5, 5.5 to 6, and 2.5 to 3.5 months for Winter, Spring and Summer FV's, respectively (Figures 1 and 2). In shoots that produced FN, the required time was 13 to 13.5, 9.5 to 10.5, and 7 to 7.5 months for the same FV's, respectively.

Fruit growth from normal (FN) and marceña blooms (FM). In the three climates included in this study, FN showed anthesis around 20 January and 15 March for the FM. In both flowering flushes, fruit growth took about eight to nine months. The greatest growth occurred from the beginning of their measuring until the end of August (Figures 1C, 2A, 2B); in that period FN's fruit increased its size about 94-96% of its final size and the FM fruit 91 to 95%. The fruit of the FM had lower final length (4%, 9% and 11% in the temperate subhumid, semiwarm subhumid and semiwarm humid climates, respectively), compared to the FN.

Root production. Root production occurred throughout the year, although it was evident the presence of two major flushes that differed with the climate. In warm subhumid (Figure 1A) and temperate subhumid climates (Figure 2B), the first flush was the most intense and occurred in April to July, while the second flush occurred from October to January. In semiwarm subhumid (more humid) and semiwarm humid climates, both flushes of root growth had similar intensity, the first one occurred in March-May and the second in July-December (Figures 1C, 2A).

Phenology in irrigated (HCR) and non irrigated orchards (HSR)

The Spring and Summer FV's were more intense in HCR than in the HSR. In HSR, the floral development in Winter and Spring FV's shoots began two weeks earlier than in HCR and that difference was maintained until anthesis in both FL and FN (Figures 3A, 3B). In Summer FV shoots, flower development began at the same time in HCR and HSR, but for both the FL and the FN anthesis was ahead almost two weeks in HSR.

The fruit's longitudinal growth set by each type of flowering (normal and marceña) was similar in HCR and HSR (Figures 3A, 3B). Since the initial measurement

agosto en HCR el fruto creció de 91 a 92% de su tamaño final y en HSR de 89 a 90%. Al término de su crecimiento, el fruto de la floración normal fue 7% más pequeño en HSR, mientras que los frutos de la floración marceña alcanzaron un tamaño similar en ambas condiciones de humedad. Respecto a la producción de raíces, los HCR y HSR mostraron actividad todo el año. Sin embargo, la presencia de dos flujos de máxima producción de raíces fue más evidente en HSR (Figuras 3A, 3B).

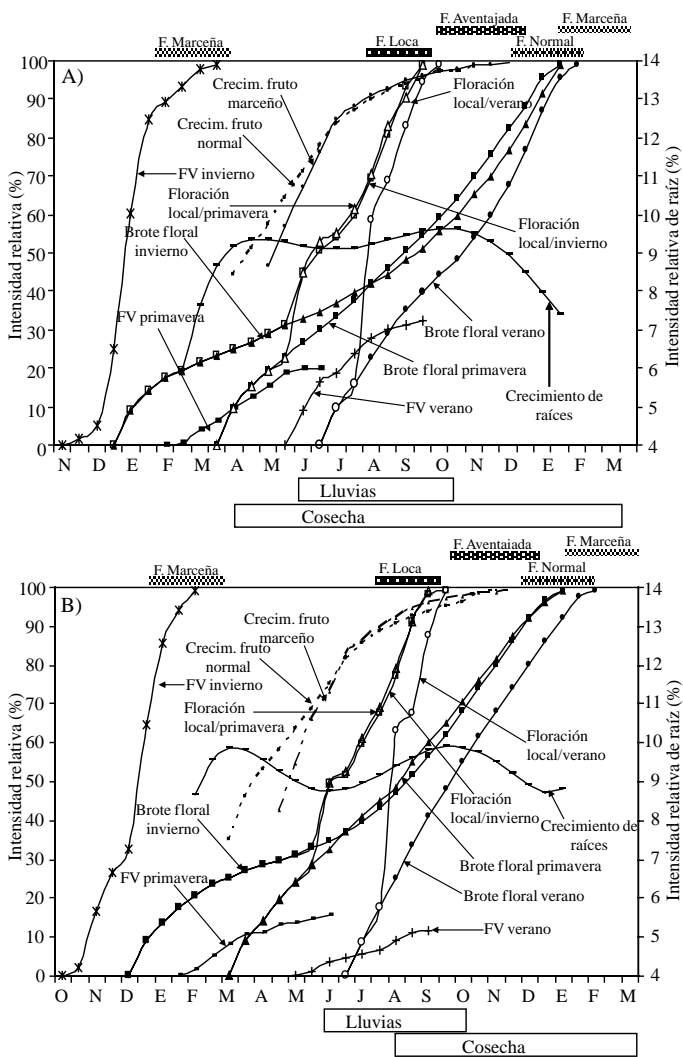


Figura 3. Fenología del aguacate 'Hass' en huertos con riego (A) y sin riego (B) en Michoacán.
Figure 3. Phenology of the 'Hass' avocado in irrigated (A) and non irrigated orchards (B) in Michoacán.

Temperaturas del aire y del suelo

Las temperatura media mensual del aire varió de 14.1 a 23 °C y la del suelo de 13.6 a 20.7 °C (Figuras 4A y 4B). Los climas

until 15 August in HCR the fruit grew from 91 to 92% of its final size and 89-90% in HSR. At the end of its growth, fruit of normal flowering was 7% smaller in HSR, while the fruits of marceña bloom reached a similar size in both soil moisture conditions. Regarding root production, HSR and HCR showed activity throughout the year. However, presence of two peaks of maximum root production was noticed in HSR (Figures 3A, 3B).

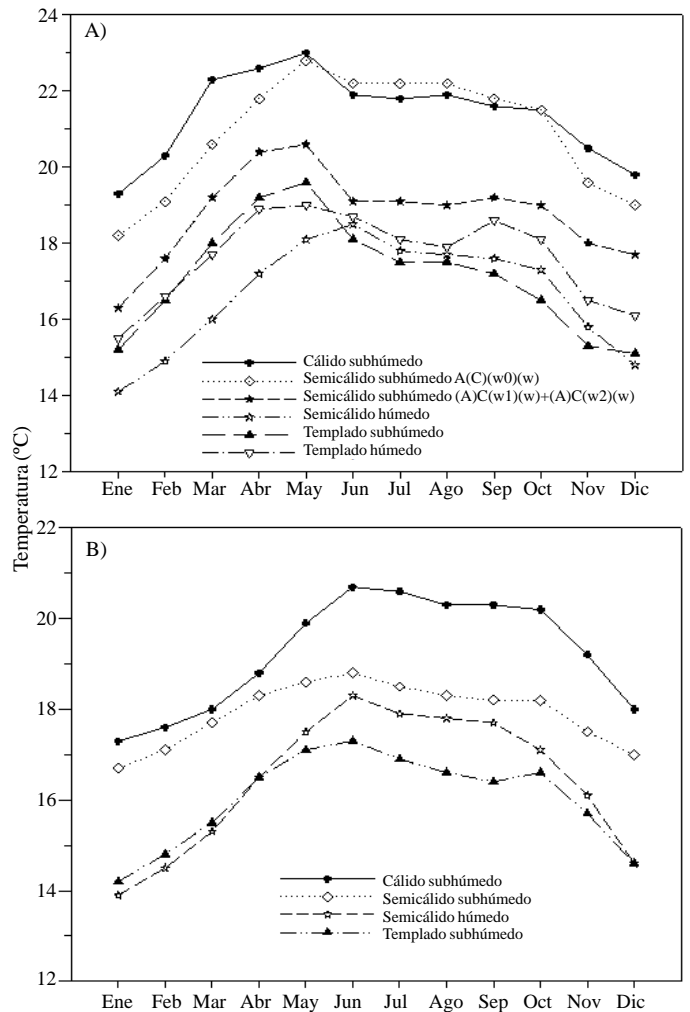


Figura 4. Promedios mensuales de la temperatura media del aire (A) y del suelo a 30 cm de profundidad (B), en distintos climas de Michoacán, 2006-2008.
Figure 4. Monthly average of mean air (A) and soil temperature at 30 cm depth (B) in different Michoacán climates, 2006-2008.

Air and soil temperatures

Mean monthly air temperature ranged from 14.1 to 23 °C and soil temperature from 13.6 to 20.7 °C (Figures 4A and

cálido subhúmedo y semicálido subhúmedo (el más seco) registraron las temperaturas del aire más altas, comparados con los demás climas (Figura 4A). Las temperaturas del suelo formaron dos grupos y entre los climas de cada grupo hubo poca diferencia en las temperaturas de enero a mayo. Sin embargo, entre junio y octubre (periodo de lluvias), las diferencias entre los climas de cada grupo fueron más notorias (Figura 4B).

DISCUSIÓN

El comportamiento fenológico de ‘Hass’ en los distintos climas incluidos en este estudio evidenció la ausencia de un periodo de reposo en los árboles, aunque la actividad fenológica disminuyó notablemente en el otoño (octubre-noviembre). Partiendo del FV invierno, la duración de un ciclo fenológico fue mayor que un año. Durante un ciclo, el árbol produjo tres FV, dos flujos de crecimiento de raíces y cuatro flujos de floración que se traslaparon entre sí, lo que dificultó la distinción de los flujos de floración contiguos y la de sus respectivos frutos.

En todos los huertos y climas evaluados el FV invierno fue el de mayor intensidad y más importante para la producción de brotes florales (Figuras 1 y 2). En la mayoría de los climas este FV inició cuando la floración normal (más abundante) estaba por concluir y el árbol presentaba poco crecimiento. La situación fue diferente en el clima semicálido subhúmedo con más humedad, en el cual el FV invierno finalizó cuando ya había iniciado el primer flujo de crecimiento de raíces (Figura 1C). La importancia del FV invierno coincide con lo reportado para ‘Hass’ en Sudáfrica (Mena-Volker, 2004) y Nayarit, México (Cossio-Vargas *et al.*, 2008), y resulta similar al llamado FV primavera en otras regiones productoras de ‘Hass’ (Whiley *et al.*, 1990; Thorp *et al.*, 1995; Salazar-García y Lovatt, 1998; Robinson *et al.*, 2002).

Comparado con el FV invierno, los FV’s primavera y verano fueron de menor intensidad e importancia para la floración. En todos los climas y tanto en HCR como en HSR, el FV primavera ocurrió simultáneamente con el primer flujo de crecimiento de raíces; esta coincidencia pudo haber causado la baja intensidad de este flujo vegetativo (Figuras 1, 2 y 3). Previo al término del FV primavera, cuando el árbol estaba recuperándose del alto gasto energético de las floraciones (Scholefield *et al.*, 1985; Van der Walt *et al.*, 1993), se inició la fase intensa de crecimiento del fruto de las floraciones normal y marceña.

4B). Warm subhumid and semiwarm subhumid climates (the driest) had the highest air temperatures compared to the other climates (Figure 4A). There were two groups of soil temperatures and there was little difference between them for temperatures from January to May. However, between June and October (rainy season), the differences between the climates of each group were more notorious (Figure 4B).

DISCUSSION

The phenology of ‘Hass’ in the different climates included in this study, showed that the trees had not a rest period, although phenological activity decreased significantly in the fall (October-November). Based on the winter FV, the duration of a phenological cycle took more than a year. During a cycle, the tree produced three FVs, two root growth flushes and four flowering flushes that overlapped each other, making it difficult to distinguish from adjacent flowering flushes and their respective fruit.

Winter FV was the most intense and important for the production of floral shoots in all the evaluated orchards and climates (Figures 1 and 2). In most climates this FV began when the normal flowering (most abundant) was about to end and the tree had little growth. The situation was different in the semiwarm subhumid climate with more humidity, because winter FV ended when the first root growth flush had already begun (Figure 1C). The importance of the Winter FV for ‘Hass’ coincides with reports from South Africa (Mena-Volker, 2004) and Nayarit, Mexico (Cossio-Vargas *et al.*, 2008) and is similar to the called spring FV in others ‘Hass’ producing regions (Whiley *et al.*, 1990; Thorp *et al.*, 1995; Salazar-García and Lovatt, 1998; Robinson *et al.*, 2002).

Compared with the Winter FV, Spring and Summer FV’s were less intense and important for flowering. In all climates and in both HCR and HSR, Spring FV occurred simultaneously with the first flush of root growth; this concurrence could have been the cause of the low intensity of this vegetative flush (Figures 1, 2 and 3). Before the end of Spring FV, when the tree was recovering from the high energy cost of flowering (Scholefield *et al.*, 1985; Van der Walt *et al.*, 1993), the intensive phase of fruit growth from normal and marceña blooms began.

En general, el FV verano fue más intenso que el de primavera y ocurrió cuando el árbol presentaba mayor actividad en la parte aérea. Resultó notorio un claro antagonismo entre el inicio del FV verano y el pico máximo del segundo flujo de producción de raíces (Figuras 1A, 1C, 2A, 2B). Esto fue más evidente en HSR, debido probablemente a una mayor definición de los flujos de producción de raíces (Figura 3).

Comportamientos alternantes y cíclicos entre flujos de crecimiento vegetativo y de raíces han sido mencionados para aguacate 'Fuerte' en Australia (Wolstenholme y Whiley, 1989), así como para 'Hass' en California (Arpaia *et al.*, 1994), México (Cossio-Vargas *et al.*, 2008) y Nueva Zelanda (Dixon *et al.*, 2008). Un comportamiento similar ha sido encontrado en plantas jóvenes de los cvs. Simmonds y Lula (Ploetz *et al.*, 1991). Sin embargo, Thorp *et al.* (1995) mencionan que bajo ciertas condiciones de cultivo 'Hass' puede presentar flujos simultáneos de crecimiento vegetativo y de raíces.

En todos los climas y tanto en HCR como en HSR, el desarrollo floral en brotes de los tres FV inició con diferencias de 85 a 200 días. Sin embargo, estas diferencias posteriormente desaparecieron, ya que los brotes de los tres FV que produjeron floración local alcanzaron antesis con sólo una o dos semanas de diferencia (10 de septiembre y el 5 de octubre) (Figuras 1, 2 y 3).

Respecto a la floración normal, en todos los climas las yemas florales sobre brotes del FV primavera alcanzaron antesis al final de enero. Sin embargo, en los climas cálido subhúmedo y semicálido subhúmedo (el más seco), los brotes de los FVs invierno y verano presentaron antesis de manera simultánea dos semanas después (Figuras 1A, 1B). En los cuatro climas restantes (los más fríos), así como en los HCR y HSR, los brotes florales del FV invierno presentaron antesis al final de enero y en brotes del FV verano ésta se retrasó dos a tres semanas (Figuras 1C, 2 y 3). Las diferencias en la sincronía del proceso de desarrollo floral en los brotes originados por los tres FV, pueden ser producto de las temperaturas registradas en cada clima (Figura 4A). Diferente a lo aquí reportado, en el clima semicálido subhúmedo de Nayarit, los brotes florales producidos por los FV invierno y verano de 'Hass' alcanzaron antesis simultáneamente en marzo (Cossio-Vargas *et al.*, 2008).

El crecimiento longitudinal del fruto de las floraciones normal y marceña fue máximo cuando la actividad fenológica en otras partes de la planta era baja (Figuras 1C, 2A, 2B) y se

In general, the Summer FV was more intense than the Spring flush and occurred when the tree had more activity in the canopy. A clear antagonism between the beginning of the Summer FV and the peak of the second root flush was observed (Figures 1A, 1C, 2A, 2B). This was most evident in HSR, probably due to a better definition of root production flushes (Figure 3).

Alternating and cyclical flushes between vegetative and root growth flushes have been reported for 'Fuerte' avocado in Australia (Wolstenholme and Whiley, 1989), as well as for 'Hass' in California (Arpaia *et al.*, 1994), Mexico (Cossio-Vargas *et al.*, 2008) and New Zealand (Dixon *et al.*, 2008). A similar behavior has been found in young plants of cvs. Simmonds and Lula (Ploetz, *et al.*, 1991). However, Thorp *et al.* (1995) mention that under certain growing conditions 'Hass' may have simultaneous flushes of vegetative and root growth.

In all climates and in both HCR and HSR, floral development in shoots from the three FV's started with differences of 85 to 200 days. However, these differences later disappeared, because shoots from the tree FV's that produced crazy flowering reached anthesis only one or two weeks apart (between 10 September and 5 October) (Figures 1, 2 and 3).

Regarding the normal flowering, floral buds on spring FV shoots reached anthesis at the end of January in all climates. However, in warm subhumid and semiwarm subhumid (the driest) climates, the winter and summer FV shoots reached anthesis simultaneously two weeks later (Figures 1A, 1B). In the remaining four climates (the coldest) and the HCR and HSR, floral shoots from Winter FV presented anthesis at the end of January and in Summer FV shoots it was delayed by two to three weeks (Figures 1C 2 and 3). Differences found in the timing of floral development process in the shoots originated by the three FV's can be caused by the temperatures in each climate (Figure 4A). Different than reported here, in the semiwarm subhumid climate of Nayarit, floral shoots produced by Winter and Summer FV's of 'Hass' reached anthesis simultaneously in March (Cossio-Vargas *et al.*, 2008).

Longitudinal fruit growth of normal and marceña blooms was highest when phenological activity in other parts of the plant was low (Figures 1C, 2A, 2B) and when the highest air temperatures were recorded (Figure 4A).

registraban las mayores temperaturas del aire (Figura 4A). En ambos tipos de fruto, el mayor aumento en longitud se registró hasta el final de agosto y a partir de septiembre el crecimiento fue mínimo, coincidiendo con el tiempo en que ocurre la mayor acumulación de materia seca (Sánchez-Pérez, 1993).

En climas semicálido subhúmedo (más húmedo) y semicálido húmedo, el mayor crecimiento del fruto ocurrió entre abril y junio y coincidió con la disminución de la intensidad del primer flujo de producción de raíces. La disminución en el crecimiento del fruto fue asociada con el inicio del segundo flujo de raíces, cuando la floración loca estaba por comenzar (Figuras 1C, 2A). En el clima templado subhúmedo, el crecimiento del fruto fue asociado con el primer flujo de raíces y la floración loca inició cuando este flujo de raíces declinó (Figura 2B). El patrón de crecimiento del fruto en los climas semicálido subhúmedo y húmedo, fue similar a lo reportado para 'Hass' en el norte de Sudáfrica (Mena-Volker, 2004) y Nayarit, México (Cossio-Vargas *et al.*, 2008).

La asociación entre el periodo de mayor crecimiento del fruto y la disminución en la producción de raíces en el primer flujo fue más clara en HSR que en HCR. Esto debido que en HSR el flujo de producción de raíces estuvo mejor definido.

Durante todo el año se registró producción de raíces y entre un flujo y otro no ocurrió un periodo de reposo. Esto coincidió con lo encontrado para 'Hass' en California (Robinson *et al.*, 2002), así como 'Simmonds' y 'Lula' en Florida (Ploetz *et al.*, 1991); diferente a lo encontrado en otros estudios (Whiley *et al.*, 1990; Cossio-Vargas *et al.*, 2008). En el presente estudio los flujos principales de producción de raíces no estuvieron claramente asociados con la temperatura del suelo, con el periodo de lluvias o con el uso de agua para riego (Figuras 1A, 1C, 2A, 2B y 4B). Las temperaturas medias mensuales del suelo variaron de 13.6 a 20.7 °C (Figura 4B) y no se consideran limitantes para el crecimiento de raíces (Whiley *et al.*, 1990).

Esta es la primera vez que se obtienen diagramas fenológicos para 'Hass' en diferentes climas y condiciones de cultivo en Michoacán. Esta información será de utilidad para planear investigaciones con el objetivo de desarrollar tecnología basada en eventos fenológicos y no en días calendario, como usualmente sucede. Adicionalmente, de inmediato permite adecuar las diversas prácticas de manejo del huerto a la época en que ocurren las diversas fases fenológicas y la interrelación entre ellas.

In both types of fruit, the greatest increase in length was recorded at the end of August and starting September the growth was minimal, coinciding with the time when the greatest accumulation of dry matter occurs (Sánchez-Pérez, 1993).

In semiwarm subhumid (more moist) and semiwarm humid climates, the largest fruit growth occurred between April and June and coincided with the decrease in the intensity of the first root production flush. The decrease in fruit growth rate was associated to the beginning of the second flush of roots, when crazy flowering was about to start (Figures 1C, 2A). In temperate subhumid climate, fruit growth was associated with the first root flush and crazy flowering started when this root flush declined (Figure 2B). The fruit growth pattern in semiwarm subhumid and humid climates was similar to what has been reported for 'Hass' in the north of South Africa (Mena-Volker, 2004) and Nayarit, Mexico (Cossio-Vargas *et al.*, 2008).

Association between the greatest fruit growth period and the decrease in first flush of root production was clearer in HSR than in HCR. This might be because HSR root production flushes were better defined.

Root production was observed throughout the year and a rest period was not observed between major flushes. This coincided with reports for 'Hass' in California (Robinson *et al.*, 2002) and 'Simmonds' and 'Lula' in Florida (Ploetz *et al.*, 1991). Different from was what found in other studies (Whiley *et al.*, 1990; Cossio-Vargas *et al.*, 2008), in the present study the major flushes of root production were not clearly associated with soil temperature, rain period, or the use of irrigation (Figures 1A, 1C, 2A, 2B and 4B). Soil monthly average temperatures ranged from 13.6 to 20.7 °C (Figure 4B) and was not considered limiting for root growth (Whiley *et al.*, 1990).

To our knowledge, this is the first time that phenological diagrams for 'Hass' avocado have been obtained in different climates and conditions where it is cultivated in Michoacán. This information will be useful for planning research aimed to develop technology based on phenological events rather than calendar days, as usually happens. Additionally, it allows to immediately adequate the various orchard management practices at the time when significant phenological phases occur and the interrelationship between them.

CONCLUSIONES

El aguacate 'Hass' presentó tres flujos vegetativos: invierno (mayor intensidad), primavera y verano (menor intensidad), dos flujos de producción de raíces y de tres a cuatro flujos de floración.

El proceso completo de desarrollo floral (de yema cerrada a antesis) fue variable, en la floración loca requirió de 2.5 a 9.5 meses y en la floración normal de 7 a 13.5 meses, dependiendo del flujo vegetativo y la época de inicio del desarrollo floral. Una gran proporción de brotes florales producidos por los flujos vegetativos de invierno, primavera y verano convergieron en la floración normal (diciembre-febrero), que fue la más abundante del año y de la cual se obtiene la mayor producción.

El crecimiento del fruto procedente de las floraciones normal (antesis: 20 enero) y marceña (antesis: 15 marzo), duró de ocho a nueve meses. El fruto de la floración marceña fue 4 a 11% más pequeño que la floración normal.

La producción de raíces ocurrió todo el año y fue mayor en huertos sin riego (máximos en marzo y septiembre), que con riego (máximos en abril y octubre). El clima cálido subhúmedo y templado subhúmedo, el primer flujo de raíces fue máximo en mayo-junio y el segundo en diciembre. El clima semicálido subhúmedo y húmedo, estos flujos ocurrieron en marzo-abril y septiembre-octubre, respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Fundación Produce Michoacán, Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de Michoacán, Comisión Michoacana del Aguacate y Consejo Nacional de Productores de Aguacate. Asimismo, a los productores: José Oregel, José S. Villegas, Daniel Medina, Francisco J. Magaña, Ignacio Madrigal, Juan C. Mora, Fernando Torres, Andrés Sánchez, Florencio Cruzaley, Julio C. Guzmán, Rafael Álvarez, José Estrada, Marcos Ávalos y Feliciano Martínez, por facilitar sus huertos para la investigación. Se agradece el apoyo técnico de los investigadores Ana T. Chávez y José Anguiano.

CONCLUSIONS

'Hass' avocado showed three vegetative flushes: Winter (higher intensity), Spring and Summer (lower intensity), two root production flushes and three to four flowering flushes.

The time to complete the flower development process (from closed bud to anthesis) was variable. In crazy flowering it required from 2.5 to 9.5 months and from 7 to 13.5 months for normal flowering, all this depending on the vegetative flush and the time when floral development started. A large proportion of floral shoots produced by of winter, spring and summer flushes converged on the normal flowering (December-February), which was the most abundant of the year and which produces most of fruit production.

Fruit growth from the normal (anthesis: 20 January) and marceña (anthesis: 15 March) blooms took about eight to nine months. The fruit of marceña flowering was 4 to 11% smaller than the normal flowering.

Root production occurred throughout the year and was higher in rainfed orchards (with peaks in March and September) than those with irrigation (peaks in April and October). In warm subhumid and temperate subhumid climates, the first root flush peaked in May-June and the second in December. In semiwarm subhumid and humid climates, these flushes occurred in March-April and September-October, respectively.

End of the English version



LITERATURA CITADA

- Anguiano-Contreras, J.; Alcántar-Rocillo, J. J.; Toledo-Bustos, R.; Tapia-Vargas, L. M.; Ruiz-Corral, J. A. y Rodríguez-Cardoso, Y. 2006. Caracterización edafo-climática del área productora de aguacate de Michoacán. Prometeo Editores S. A. de C. V. Libro técnico. Núm. 4. 214 p.
- Arpaia, M. L.; Witney, G. W.; Robinson, P. W. and Mickelbart, M. V. 1995. 'Hass' avocado phenology in California: preliminary results. Subtropical fruit news. Fall 1994/Winter 1995. 3(1):1-2.

- Cossio-Vargas, L. E.; Salazar-García, S.; González-Durán, I. J. L. y Medina-Torres, R. 2008. Fenología del aguacate 'Hass' en el clima semicálido de Nayarit, México. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 14(3):325-330.
- Dixon, J.; Cotterell, C.; Hofstee, B. and Elmsly, T. A. 2008. 'Hass' avocado tree phenology 2004-2009 in the Western Bay of Plenty. *Annu. Res. Rpt. N. Z. Avocado Growers' Assn.* 8:35-57.
- FitzPatrick, E. A. 1984. Suelos: su formación, clasificación y distribución. *Compañía Editorial Continental S. A. de C. V. México.* 229-300 pp.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1985. Síntesis geográfica del estado de Michoacán. *Secretaría de Programación y Presupuesto.* México. 314 p.
- Mena-Volker, F. 2004. Fenología del palto, su uso como base del manejo productivo. 2º Seminario Internacional de Paltos. 29 septiembre-1 octubre. *Sociedad Gardiazábal y Magdahl Ltda. Quillota, Chile.* <http://www.avocadosource.com>.
- Ploetz, R. C.; Ramos, J. L. and Parrado, J. L. 1991. Shoot and root cycles of avocado in south Florida. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 104:21-24.
- Robinson, P. W.; Mickelbart, M. V.; Liu, X.; Adams, C.; Witney, G. and Arpaia, M. L. 2002. Development of a phenological model of avocado tree growth in California. *In: Proc. Intl. Symp. Trop. and Subtropical Fruits.* R. Drew (ed.). *Acta Hort.* 575:859-864.
- Salazar-García, S. and Lovatt, C. J. 1998. GA₃ application alters flowering phenology of the 'Hass' avocado. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123:791-797.
- Salazar-García, S.; Lord, E. M. and Lovatt, C. J. 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.; Zamora-Cuevas, L. and Vega-López, R. J. 2005. Update on the avocado industry of Michoacán, Mexico. *Calif. Avocado Soc. Yrbk.* 87:31-44.
- Sánchez-Pérez, J. L. 1993. Índices de madurez en aguacate: muestreo de frutos en campo y determinación de materia seca. *INIFAP-CIRPAC. C. E. Uruapán. Folleto para productores.* Núm. 20. Michoacán, México. 12 p.
- Scholefield, P. B.; Sedgley, M. and Alexander, D. McE. 1985. Carbohydrate cycling in relation to shoot growth, floral initiation and development and yield in the avocado. *Scientia Hort.* 25: 99-110.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2009. Anuario estadístico de la producción agrícola. SAGARPA. URL: <http://www.oeidrus-portal.gob.mx/agricola-siap/icultivo/index.jsp>.
- Tapia-Vargas, L. M. 2007. Manejo del riego y fertiriego en aguacate. *In: el aguacate y su manejo integrado.* Téliz, D. y Mora, A. (coords.). 2^{da} Edición. *Mundi Prensa.* México. 107-121 pp.
- Thorp, T. G.; Aspinall, D. and Sedgley, M. 1993. Influence of shoot age on floral development and early fruit set in avocado (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. *J. Hort. Sci.* 68:645-651.
- Thorp, T. G.; Anderson, P. and Camilleri, M. 1995. Avocado tree growth cycles a quantitative model. *Proc. World Avocado Congr. III.* 76-79.
- Van der Walt, M.; Davie, S. J. and Smith, D. G. 1993. Carbohydrate and other studies on alternate bearing Fuerte and Hass avocado trees. *South Afr. Avocado Growers' Assn. Yrbk.* 16:82-85.
- Whiley, A. W. 1990. Interpretación de la fenología y fisiología del palto para obtener mayores producciones. *In: producción, postcosecha y comercialización de paltas.* Curso Internacional. Facultad de Agronomía-FAO. Universidad Católica de Valparaíso. Viña del Mar, Chile. 1-25 pp.
- Whiley, A. W.; Wolstenholme, B. N.; Saranah, J. B. and Anderson, P. A. 1990. Effect of root temperature on growth of two avocado rootstocks cultivars. *Acta Hort.* 275:153-160.
- Wolstenholme, B. N. and Whiley, A. W. 1989. Carbohydrate and phenological cycling as management tools for avocado orchards. *South Afr. Avocado growers Assn. Yrbk.* 12:33-37.