

VALIDACIÓN DE MODELOS DE PREDICCIÓN DEL DESARROLLO FLORAL DEL AGUACATE 'HASS' DESARROLLADOS PARA NAYARIT, EN VARIOS CLIMAS DE MICHOACÁN

S. Salazar-García¹; L. E. Cossio-Vargas²;
I. J. L. González-Durán¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias,
Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Apdo. Postal 100,
Santiago Ixcuintla, Nayarit. C. P. 63300. MÉXICO.

Correo-e: samuelsalazar@prodigy.net.mx (¹Autor responsable).

²Universidad Autónoma de Nayarit, Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias.
Apartado Postal 49, Xalisco, Nayarit C. P. 63780. MÉXICO.

RESUMEN

Utilizando registros de temperatura ambiental y desarrollo floral obtenidos de 1998 al 2006 de una zona con clima semicálido subhúmedo del estado de Nayarit, se desarrollaron cinco modelos de predicción del desarrollo floral para brotes de los flujos vegetativos de invierno y verano de aguacate 'Hass'. El objetivo de esta investigación fue evaluar los modelos de predicción generados en Nayarit, para estimar capacidad para predecir el desarrollo floral de brotes de los flujos vegetativos de invierno, primavera y verano de 'Hass' en los principales climas de la región aguacatera del estado de Michoacán. El modelo de predicción verano_{DFA≤19} desarrollado en Nayarit, mostró una elevada capacidad de predicción del desarrollo floral en brotes del flujo de verano ($R^2 = 0.94$), para un conjunto de datos de los cuatro climas del estado de Michoacán en donde se concentra el 85 % de la superficie aguacatera: cálido subhúmedo $Aw_1(w)$, semicálido subhúmedo $(A)C(w_0)(w)$, semicálido subhúmedo $(A)C(w_1)(w) + (A)C(w_2)(w)$ y templado subhúmedo $C(w_2)(w)$. Los demás modelos de predicción probados en Michoacán no pronosticaron el desarrollo floral en brotes de los flujos vegetativos de invierno, primavera o verano en ninguno de los climas estudiados.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES. *Persea americana*, fenología, floración, flujos vegetativos, ecofisiología.

VALIDATION OF FLORAL DEVELOPMENT PREDICTION MODELS DEVELOPED IN NAYARIT FOR 'HASS' AVOCADO FROM SEVERAL CLIMATES OF MICHOACÁN

ABSTRACT

Using records of environmental temperature and floral development obtained from 1998 to 2006 in a semiwarm subhumid climate of the state of Nayarit, five floral development prediction models for winter and summer shoots of 'Hass' avocado were developed. The study was conducted to test prediction models generated in Nayarit for their capacity to predict the floral development on winter, spring and summer shoots of 'Hass' avocado originally cultivated in the climates of the avocado producer region of the state of Michoacán. The prediction model summer_{DFA≤19} developed in Nayarit showed a strong capacity to predict floral development on summer shoots ($R^2 = 0.94$), in a data set from four climates of Michoacán which accounted for 85 % of the avocado producer region: warm subhumid $Aw_1(w)$, semiwarm subhumid $(A)C(w_0)(w)$, semiwarm subhumid $(A)C(w_1)(w) + (A)C(w_2)(w)$, and temperate subhumid $C(w_2)(w)$. Other prediction models tested did not predict floral development on winter, spring or summer flush shoots in any of the studied climates.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Persea americana*, phenology, flowering, vegetative flushes, ecophysiology.

INTRODUCCIÓN

El inicio y duración del proceso de desarrollo floral del aguacate (*Persea americana* Mill.) son variables y están influenciados por las condiciones climáticas prevalecientes antes y durante el desarrollo floral. Los brotes florales son producidos por yemas apicales y axilares desarrolladas sobre brotes vegetativos producidos durante el año. En el clima semicálido del estado de Nayarit, las yemas de brotes de los flujos vegetativos de invierno (emergidos en enero) y verano (emergidos en julio) de 'Hass' requirieron cuatro meses para pasar de la iniciación floral (octubre) a la antesis (febrero) (Salazar-García *et al.*, 2006).

El desarrollo floral de 'Hass' en el estado de Michoacán es único, ya que suelen ocurrir varios flujos vegetativos en cada estación del año y que pueden resultar en hasta cuatro flujos de floración. La floración "loca" que es la más temprana se presenta en agosto-septiembre; la avanzada ocurre en octubre-noviembre; la normal en diciembre-enero y la marceña, que ocurre en marzo (Sánchez-Pérez *et al.*, 2001; Salazar-García *et al.*, 2005).

Estudios realizados en condiciones controladas muestran que existe una relación entre el descenso de la temperatura ambiental y la iniciación floral del aguacate 'Fuerte' (Buttrose y Alexander, 1978) y 'Hass' (Nevin y Lovatt, 1989; Salazar-García *et al.*, 1999). La misma relación ocurrió en huertos comerciales de 'Hass' en el clima semicálido de Nayarit, donde la determinación irreversible a la floración de yemas apicales en brotes de los flujos vegetativos de invierno y verano fue asociada a temperaturas ≤ 19 °C (Salazar-García *et al.*, 2006).

El descenso en la temperatura ambiental (≤ 21 °C), también promovió la floración de los aguacates 'Choquette' y 'Booth-8' en un clima cálido de Nayarit. Esto permitió desarrollar modelos de predicción de la fecha en que ocurre la determinación irreversible a la floración en brotes de los flujos vegetativos de invierno y verano (Cossio-Vargas *et al.*, 2007).

Dado que el proceso de floración está asociado con la temperatura ambiental, se generaron modelos de predicción del desarrollo floral, desde el término de la elongación de los brotes vegetativos, hasta antesis, para 'Hass' cultivado en un clima semicálido de Nayarit (Salazar-García *et al.*, 2007). En brotes del flujo de invierno, el desarrollo floral fue asociado a la acumulación de días frío (DFA) con temperaturas ≤ 21 °C, así como a los intervalos acumulados entre las temperaturas máxima y mínima (INTAC). Para brotes del flujo de verano, el proceso fue asociado a DFA con temperaturas ≤ 19 °C, ≤ 20 °C y los INTAC. Derivado de esto, se obtuvieron dos modelos de predicción para brotes del flujo de invierno, el invierno_{DFA ≤ 21} ($R^2 = 0.99$) y el invierno_{INTAC} ($R^2 = 0.96$). Para brotes del flujo de verano se generaron tres modelos de predicción, verano_{DFA ≤ 19} , verano_{DFA ≤ 20} y verano_{INTAC}, todos ellos con $R^2 =$

0.99. Estos modelos de predicción son útiles para pronosticar eventos clave del desarrollo floral del aguacate, así como el inicio del crecimiento del ápice del brote vegetativo de los brotes florales indeterminados. Un modelo de predicción del desarrollo floral ayudará a programar de manera adecuada y efectiva algunas prácticas de manejo del huerto, como la poda y las aplicaciones al follaje de insecticidas, fertilizantes y biorreguladores autorizados para así aumentar su efecto y su relación beneficio-costo (Salazar-García *et al.*, 2007).

Para que los modelos de predicción del desarrollo floral generados para 'Hass' en Nayarit tengan un uso más amplio, deben ser evaluados por su aplicabilidad en otras regiones productoras de aguacate con climas similares o diferentes. El objetivo de esta investigación fue evaluar los modelos de predicción generados en Nayarit por su capacidad para predecir el desarrollo floral de brotes de los flujos vegetativos de invierno, primavera y verano de 'Hass' en los seis principales climas de la región aguacatera del estado de Michoacán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de los huertos. Se seleccionaron 14 huertos comerciales de 'Hass' para explorar los seis climas más importantes de la región aguacatera de Michoacán (Cuadro 1). En cada huerto se seleccionaron 10 árboles con un historial de producción de fruto superior a 100 kg-árbol⁻¹.

Desarrollo floral y temperatura ambiental. En cada árbol seleccionado se marcaron 30 brotes vegetativos jóvenes de cada uno de los flujos emergidos en el 2006: invierno (enero), primavera (abril) y verano (julio). De cada árbol y tipo de brote marcado se obtuvo una yema apical (10 yemas / muestreo / huerto), a intervalos quincenales desde que éstas se encontraban cerradas y puntiagudas hasta que alcanzaron antesis (diciembre 2006 a febrero 2007). El material colectado fue fijado en FAA (formaldehído, ácido acético y etanol, 5:5:90 v/v). El estado de desarrollo floral de las yemas y brotes florales colectados fue determinado con la escala visual de Salazar-García *et al.* (1998), empleando un microscopio Zeiss Stereomikroskop Modelo Stemi 2000-C (Carl Zeiss, Göttingen, Germany). Durante el tiempo que duró el estudio, en cada huerto se registró la temperatura ambiental cada hora con registradores automatizados HOBO H8 (Onset Computer, Witzprod, Englewood Cliffs, NJ, USA).

Días frío e intervalos de temperatura. Los días frío (DF) y los intervalos de temperatura (INT) fueron calculados de acuerdo con lo descrito por Salazar-García *et al.* (2007). Dadas las características de los modelos de predicción a validar, se consideraron las temperaturas críticas ≤ 19 , ≤ 20 y ≤ 21 °C, así como los intervalos entre las temperaturas máximas y mínimas registradas en cada

CUADRO 1. Características de los huertos de 'Hass' ubicados en los climas más importantes de la región aguacatera de Michoacán.

Clima*	Temp. media anual	Superficie (%)	Localidad y municipio	Huerto	Altura (m)
	Máx. / Mín. / Prom. (°C)				
$A_w(w)$. Cálido subhúmedo con lluvias en verano; % de lluvia invernal menor de 5 mm; intermedio en humedad.	28.8 / 13.3 / 21.0	0.12 [†]	Matangarán, Uruapan.	1	1450
$(A)C(w_0)(w)$. Semicálido subhúmedo con lluvias en verano; % de lluvia invernal menor de 5 mm; el menos húmedo.	26.2 / 9.6 / 18.0	1.62	Barranquillas, Tancítaro. Barranquillas, Tancítaro.	2 3	1553 1430
$(A)C(w_1)(w) + (A)C(w_2)(w)$. Semicálido subhúmedo con lluvias en verano; % de lluvia invernal menor de 5 mm el más húmedo + Semicálido subhúmedo con lluvias en verano; % de lluvia invernal menor de 5 mm; intermedio en humedad.	28.3 / 11.7 / 20.0	57.03	Patámbaro, Tancítaro. Araparícuaro, Tancítaro. Araparícuaro, Tancítaro. Tecario, Tacámbaro.	4 5 6 7	1940 1812 2055 1623
$(A)C(m)(w)$. Semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano; % de lluvia invernal mayor de 5 mm.	25.3 / 9.0 / 17.1	10.22	Cheranguerán, Uruapan. La Basilia, Uruapan.	8 9	1815 1875
$C(w_2)(w)$. Templado subhúmedo con lluvias en verano; % de lluvia invernal menor de 5 mm; el menos húmedo.	25.7 / 8.8 / 17.2	25.99	Peribán, Peribán. Araparícuaro, Tancítaro. San A. de Viña, Tacámbaro.	10 11 12	2053 1990 2031
$C(m)(w)$. Templado húmedo con abundantes lluvias en verano; % de lluvia invernal mayor de 5 mm.	24.2 / 8.6 / 16.4	3.62	Zirapóndiro, Uruapan. San Lorenzo, Uruapan.	13 14	2065 2140

*INEGI (1985).

†Anguiano-Contreras *et al.* (2003).

huerto. Se utilizaron conjuntos de datos independientes para cada uno de los flujos de invierno, primavera y verano. Mediante la suma individual de los valores de $DF_{\leq 19}$, $DF_{\leq 20}$ y $DF_{\leq 21}$, así como la de los INT, se obtuvieron los valores acumulados para cada fecha de muestreo de yemas, denominándolos días frío acumulados (DFA) o intervalos acumulados (INTAC).

El día cero para brotes de los flujos de invierno (emergidos del 14 al 20 de enero), primavera (emergidos del 14 al 25 de abril) y verano (emergidos del 19 al 30 de julio) fue cuando las yemas apicales se encontraban en el estado S-1 (Yema cerrada y puntiaguda localizada dentro de las dos últimas hojas sin expandir del brote), según la escala visual de Salazar-García *et al.* (1998).

Validación de los modelos de predicción del desarrollo floral. En el Cuadro 2 se presentan los modelos de predicción desarrollados en el clima semicálido subhúmedo $(A)C(w_2)(w)$ (INEGI, 2002) de Nayarit por Salazar-García *et al.* (2007) y que fueron validados en los climas y flujos vegetativos de la región aguacatera de Michoacán.

Los estados de desarrollo floral predichos por los distintos modelos de predicción desarrollados en Nayarit fueron analizados mediante una regresión lineal contra los estados de desarrollo floral observados para cada flujo vegetativo y clima de Michoacán, con el programa MINITAB (Minitab Inc., 1996). Los criterios para determinar si los modelos desarrollados en Nayarit predichos los valores observados en Michoacán fueron: 1) que la ordenada al origen de la regresión fuera lo más cercana a cero ($B_0 = 0$); 2) que la pendiente fuera lo más aproximada a uno ($B_1 = 1$); y 3) el

mayor valor del coeficiente del modelo ajustado (R^2) (Salazar-García *et al.*, 2007).

Validación de modelos de predicción utilizando un solo conjunto de datos. En el caso de que cualquiera de los modelos de predicción evaluados fuese capaz de predecir consistentemente el desarrollo floral de brotes de los flujos de invierno, primavera o verano en cada uno de los climas de Michoacán, los datos de todos los climas involucrados fueron considerados como una sola población. Ante esto, se integró un solo conjunto de datos con información de desarrollo floral y temperatura de los climas involucrados.

Verificación del poder predictivo del modelo verano^{DFA ≤ 19} . Para verificar la validez de este modelo de predicción, se realizó una regresión con los datos de desarrollo floral observado (reales), contra los valores predichos. Si el modelo tiene poder de predicción, los valores predichos por el modelo deben ser iguales a los valores observados. De esta forma, la ordenada al origen de la regresión será cero y la pendiente será uno (cuando el valor predicho cambia una unidad el valor observado también cambia una unidad) (Draper y Smith, 1981; Neter *et al.*, 1985). La regresión se realizó con Minitab Ver. 14.12.0.

RESULTADOS

Temperatura ambiental y desarrollo floral de 'Hass' en los seis climas estudiados en Michoacán

Acumulación de días frío por brotes del flujo de invierno. El proceso de desarrollo floral en brotes del flujo de invierno, desde yemas en estado S-1 (término de elonga-

CUADRO 2. Modelos de predicción del desarrollo floral de 'Hass' desarrollados en Nayarit y que fueron validados en Michoacán.

Modelos	Coeficientes matemáticos					
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
Invierno _{DFA\leq21 °C}	3.690559 ^y	0.030014X	-0.000721X ²	0.000005243X ³	-2.3675456E ⁻⁸ X ⁴	
Pr>T	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	
EE ^z	0.1734	0.0274	0.000016	0.00000012	0.0000000014	
Invierno _{INTAC}	3.672844	0.004359X	-0.000012469X ²	1.3601102E ⁻⁸ X ³	-5.15164E ⁻¹² X ⁴	6.446725E ⁻¹⁶ X ⁵
Pr>T	0.0001	0.0017	0.0012	0.0006	0.0012	0.0036
EE	0.1221	0.00123	0.0000023	0.000000024	0.0000000024	0.000000000012
Verano _{DFA\leq19 °C}	0.900118	0.07697X	-0.001245X ²	0.000013197X ³	-3.84E ⁻⁰⁸ X ⁴	
Pr>T	0.0123	0.0219	0.0456	0.0583	0.0471	
EE	0.2345	0.0321	0.000254	0.0000023	0.0000000041	
Verano _{DFA\leq20 °C}	1.050477	-0.008331X	0.001573X ²	-0.000025629X ³	0.000000169X ⁴	-3.65E ⁻¹⁰ X ⁵
Pr>T	0.0032	0.0321	0.0648	0.0731	0.0488	0.0808
EE	0.1123	0.00034	0.0000015	0.000000023	0.00000000012	0.000000000025
Verano _{INTAC}	0.94049	0.002711X	-0.000002445X ²	1.68E ⁻⁰⁹ X ³	-2.74E ⁻¹³ X ⁴	
Pr>T	0.0151	0.0529	0.0413	0.0758	0.0477	
EE	0.156	0.00023	0.00013	0.000000023	0.0000000014	

^yError estándar.**CUADRO 3. Días frío acumulados DFA (según la temperatura crítica) e intervalos acumulados (INTAC) para brotes de los flujos de invierno, primavera y verano de 'Hass', en seis climas de Michoacán.**

Clima		Tipo de brote (flujos)					
		Invierno		Primavera		Verano	
		DFA	INTAC	DFA	INTAC	DFA	INTAC
Cálido subhúmedo Aw ₁ (w)	≤ 19	375	—	285	—	210	—
	≤ 20	375	—	285	—	210	—
	≤ 21	375	—	285	—	210	—
	INT ^y		5725		4047		2231
Semicálido subhúmedo (A)C(w ₀)(w)	≤ 19	375	—	285	—	198	—
	≤ 20	375	—	285	—	198	—
	≤ 21	375	—	285	—	198	—
	INT		5634		4104		2945
Semicálido subhúmedo (A)C(w ₁)(w) + (A)C(w ₂)(w)	≤ 19	375	—	285	—	198	—
	≤ 20	375	—	285	—	198	—
	≤ 21	375	—	285	—	198	—
	INT		5722		4119		2813
Semicálido húmedo (A)C(m)(w)	≤ 19	375	—	285	—	NF ^z	NF
	≤ 20	375	—	285	—	NF	NF
	≤ 21	375	—	285	—	NF	NF
	INT		6018		4623		NF
Templado subhúmedo C(w ₂)(w)	≤ 19	345	—	255	—	210	—
	≤ 20	345	—	255	—	210	—
	≤ 21	345	—	255	—	210	—
	INT		6475		4964		3084
Templado húmedo C(m)(w)	≤ 19	375	—	270	—	NF	NF
	≤ 20	375	—	270	—	NF	NF
	≤ 21	375	—	270	—	NF	NF
	INT		7500		5088		NF

^zNF = No hubo flujo vegetativo.^yIntervalos entre las temperaturas máximas y mínimas diarias.

Validación de modelos...

ción del brote vegetativo) hasta antesis (S-11) requirió de 345 [clima templado subhúmedo $C(w_2)(w)$] a 375 DFA (otros climas) (Cuadro 3). Los intervalos acumulados entre las temperaturas máximas y mínimas (INTAC) para brotes de invierno variaron de 5,634 [semicálido subhúmedo $(A)C(w_0)(w)$] a 7,500 [templado húmedo $C(m)(w)$] (Cuadro 3).

Acumulación de días frío por brotes del flujo de primavera. Los DFA por los brotes de primavera, desde S-1 a S-11, variaron de 255 [templado subhúmedo $C(w_2)(w)$] a 285 [resto de climas, a excepción del templado húmedo $C(m)(w)$] (Cuadro 3). Los INTAC fluctuaron entre 4,047 [cálido subhúmedo $Aw_1(w)$], y 5,088 [templado húmedo $C(m)(w)$] para los seis climas de Michoacán (Cuadro 3).

Acumulación de días frío por brotes del flujo de verano. Este flujo sólo ocurrió en cuatro de los seis climas estudiados y el proceso de desarrollo floral desde yemas en estado S-1 (vegetativo) hasta antesis (S-11) requirió cantidades similares de frío (198 a 210 DFA) (Cuadro 3). Los brotes de verano presentaron mayor variación en los INTAC ya que fueron de 2,231 [cálido subhúmedo $Aw_1(w)$] a 3,084 [templado subhúmedo $C(w_2)(w)$] (Cuadro 3).

Validación en Michoacán de los modelos de predicción obtenidos en Nayarit.

Brotes de los flujos de invierno y primavera. Los modelos de predicción del desarrollo floral obtenidos en Nayarit no mostraron una aceptable capacidad de predicción del desarrollo floral de brotes de los flujos de invierno y

CUADRO 4. Estimaciones de los parámetros de las ecuaciones de regresión resultantes de probar si los modelos de predicción desarrollados en Nayarit predicen los valores de desarrollo floral observados en campo en brotes de los flujos de invierno y primavera de 'Hass', en seis climas de Michoacán.

Clima	Modelo	Tipo de brote (flujo) y parámetros					
		Invierno			Primavera		
		B_0	B_1	R^2	B_0	B_1	R^2
Cálido subhúmedo $Aw_1(w)$	Invierno _{DFA≤21°C}	18.173	3.874	0.33	12.757	2.299	0.44
	Invierno _{INTAC}	10.223	5.348	0.42	13.544	3.238	0.38
	Verano _{DFA≤19°C}	11.543	6.624	0.37	8.665	4.663	0.47
	Verano _{DFA≤20°C}	12.443	7.566	0.43	11.455	6.443	0.45
	Verano _{INTAC}	10.556	4.341	0.35	17.144	7.445	0.35
Semicálido subhúmedo $(A)C(w_0)(w)$	Invierno _{DFA≤21°C}	15.622	5.732	0.50	15.481	3.730	0.42
	Invierno _{INTAC}	15.642	4.255	0.42	13.768	2.816	0.44
	Verano _{DFA≤19°C}	12.235	6.343	0.47	17.228	8.556	0.26
	Verano _{DFA≤20°C}	17.661	4.655	0.43	16.834	9.445	0.37
	Verano _{INTAC}	13.544	3.549	0.51	12.738	3.664	0.44
Semicálido subhúmedo $(A)C(w_1)(w) + (A)C(w_2)(w)$	Invierno _{DFA≤21°C}	16.223	6.475	0.23	7.582	2.877	0.43
	Invierno _{INTAC}	20.554	4.766	0.34	5.684	2.223	0.45
	Verano _{DFA≤19°C}	17.211	5.231	0.21	4.721	2.231	0.31
	Verano _{DFA≤20°C}	21.566	5.443	0.42	5.673	2.723	0.36
	Verano _{INTAC}	15.433	7.334	0.36	5.662	3.562	0.38
Semicálido húmedo $(A)C(m)(w)$	Invierno _{DFA≤21°C}	13.544	6.830	0.38	2.658	1.883	0.43
	Invierno _{INTAC}	15.631	7.344	0.52	6.445	2.334	0.44
	Verano _{DFA≤19°C}	17.252	9.554	0.34	3.483	1.863	0.37
	Verano _{DFA≤20°C}	16.87	5.052	0.27	1.871	0.552	0.47
	Verano _{INTAC}	14.332	5.382	0.37	5.443	2.337	0.42
Templado subhúmedo $C(w_2)(w)$	Invierno _{DFA≤21°C}	18.554	10.645	0.41	9.664	4.553	0.27
	Invierno _{INTAC}	23.665	12.873	0.42	4.665	2.773	0.42
	Verano _{DFA≤19°C}	15.442	8.667	0.32	5.778	2.660	0.36
	Verano _{DFA≤20°C}	18.554	5.677	0.24	7.548	4.331	0.37
	Verano _{INTAC}	20.314	7.643	0.36	3.314	0.829	0.53
Templado húmedo $C(m)(w)$	Invierno _{DFA≤21°C}	18.634	6.321	0.34	3.761	2.113	0.49
	Invierno _{INTAC}	22.654	13.655	0.26	3.544	1.645	0.26
	Verano _{DFA≤19°C}	15.223	7.338	0.22	4.623	2.443	0.42
	Verano _{DFA≤20°C}	21.433	10.547	0.54	8.283	4.334	0.45
	Verano _{INTAC}	13.445	7.223	0.36	6.360	3.664	0.36

primavera en cada uno de los seis climas de Michoacán. Esta afirmación se basa en los parámetros de las ecuaciones resultantes de la prueba de ajuste de valores entre el estado de desarrollo floral observado (evaluación directa en campo) y el estado de desarrollo floral predicho por los modelos desarrollados en Nayarit (Cuadro 4).

Brotos del flujo de verano. La prueba de todos los modelos de predicción desarrollados en Nayarit mostró que sólo el modelo verano_{DFA≤19} tuvo una elevada capacidad de predicción del desarrollo floral en brotes del flujo de verano en los cuatro climas de Michoacán en donde ocurrió este flujo vegetativo: cálido subhúmedo $Aw_1(w)$ ($R^2 = 0.90$), semicálido subhúmedo $[(A)C(w_0)(w)$ ($R^2 = 0.95$)] semicálido subhúmedo $[(A)C(w_1)(w) + (A)C(w_2)(w)$ ($R^2 = 0.96$)] y templado subhúmedo $[C(w_2)(w)$ ($R^2 = 0.92$)] (Cuadro 5).

Validación del modelo verano_{DFA≤19} con un conjunto de datos de cuatro climas de Michoacán y en brotes de verano.

Como los resultados de la validación del modelo de predicción verano_{DFA≤19} realizada para cada uno de los cuatro climas en que ocurrió flujo de verano fueron similares, se integró un solo conjunto de datos con la información de dichos climas. La prueba del modelo verano_{DFA≤19}, usando el

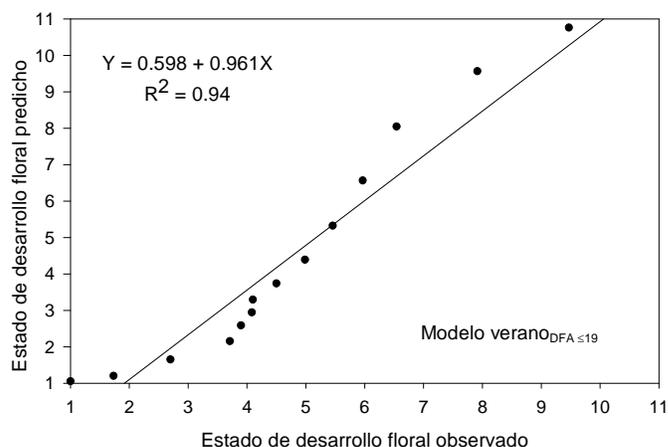


FIGURA 1. Ajuste de valores entre el estado de desarrollo floral observado (evaluación directa) y el estado de desarrollo floral predicho por los modelos para brotes del flujo de verano de 'Hass', empleando el Modelo verano_{DFA≤19}. Se usó un conjunto de datos de los cuatro climas en donde se presentó el flujo vegetativo de verano: cálido subhúmedo $[Aw_1(w)]$, semicálido subhúmedo $[(A)C(w_0)(w)]$, semicálido subhúmedo $[(A)C(w_1)(w) + (A)C(w_2)(w)]$ y templado subhúmedo $[C(w_2)(w)]$. Los valores de los ejes corresponden a los estados de desarrollo floral descritos en la escala propuesta por Salazar-García *et al.* (1998).

CUADRO 5. Estimaciones de los parámetros de las ecuaciones de regresión resultantes de probar si los modelos de predicción desarrollados en Nayarit predecían los valores de desarrollo floral observados, en brotes del flujo de verano de 'Hass', en cuatro climas de Michoacán.

Clima	Modelos	Parámetros		
		B_0	B_1	R^2
Cálido subhúmedo $Aw_1(w)$	Invierno _{DFA≤21 °C}	16.403	4.321	0.37
	Invierno _{INTAC}	8.456	7.456	0.42
	Verano _{DFA≤19 °C}	0.244	1.158	0.90
	Verano _{DFA≤20 °C}	11.245	0.566	0.41
	Verano _{INTAC}	7.321	0.345	0.35
Semicálido subhúmedo $(A)C(w_0)(w)$	Invierno _{DFA≤21 °C}	2.845	0.634	0.40
	Invierno _{INTAC}	2.731	0.761	0.46
	Verano _{DFA≤19 °C}	0.271	1.213	0.95
	Verano _{DFA≤20 °C}	4.345	0.345	0.36
	Verano _{INTAC}	4.355	0.234	0.43
Semicálido subhúmedo $(A)C(w_1)(w) + (A)C(w_2)(w)$	Invierno _{DFA≤21 °C}	3.877	0.245	0.53
	Invierno _{INTAC}	12.564	0.321	0.47
	Verano _{DFA≤19 °C}	0.310	1.114	0.96
	Verano _{DFA≤20 °C}	2.310	0.783	0.74
	Verano _{INTAC}	1.234	0.432	0.66
Templado subhúmedo $C(w_2)(w)$	Invierno _{DFA≤21 °C}	8.543	0.243	0.43
	Invierno _{INTAC}	5.762	0.523	0.52
	Verano _{DFA≤19 °C}	0.598	0.960	0.92
	Verano _{DFA≤20 °C}	2.544	0.792	0.67
	Verano _{INTAC}	0.281	0.321	0.70

conjunto de datos de los cuatro climas mostró una alta capacidad de predicción del desarrollo floral en brotes del flujo de verano ($R^2 = 0.94$) de 'Hass' para cuatro climas importantes de la región aguacatera de Michoacán (Figura 1).

Verificación del poder predictivo del modelo verano_{DFA ≤19}

La prueba de hipótesis del poder predictivo del modelo verano_{DFA ≤19} indicó que la hipótesis no se rechaza, confirmando el poder predictivo de este modelo ($B_0 = 0.49563$, $Pr > |t| = 0.0019$) y ($B_1 = 1$, $Pr > |t| = <0.0001$) (no se muestran datos).

DISCUSIÓN

Investigaciones realizadas con 'Hass' en el clima subtropical templado de California, EE.UU. (Salazar-García *et al.*, 1998) y en el clima semicálido de Nayarit, México, han asociado tanto el proceso temprano de iniciación floral (Salazar-García *et al.*, 2006) como el proceso completo de desarrollo floral (Salazar-García *et al.*, 2007) al descenso en la temperatura ambiental. Investigación reciente confirmó que el descenso en la temperatura ambiental también fue asociado al desarrollo floral en los aguacates 'Choquette' y 'Booth-8' (híbridos de las razas Guatemalteca x Antillana) en un clima cálido del estado de Nayarit, México (Cossio-Vargas *et al.*, 2007). Lo anterior demuestra que el descenso en las temperaturas promueve la floración del aguacate.

No obstante las variaciones térmicas de los seis climas considerados en esta investigación (temperaturas promedio anuales de 16.4 a 21 °C), la cantidad de días frío requerida para el proceso completo de desarrollo floral, desde que las yemas apicales estaban en estado S-1 (término de elongación del brote vegetativo) hasta que las flores alcanzaron la antesis (S-11), fue más afectada por el flujo vegetativo que por las condiciones climáticas. La acumulación de frío fue mayor para brotes del flujo de invierno (345-375 DFA), seguido por los de primavera (255-285 DFA), y los que menos frío necesitaron fueron los de verano (198-210 DFA). Lo anterior es un indicador de la plasticidad genético-fisiológica del cv. Hass que le permite florecer en diferentes ambientes y tiene una perspectiva importante para estudiar la época y tipo de poda. Por una parte, asegurando que los brotes resultantes de la poda alcancen la madurez fisiológica para florecer en la época deseada, y por la otra, que la poda no estimule la producción de brotes silépticos ya que normalmente son vegetativos (Thorp *et al.*, 1994).

En el clima semicálido subhúmedo en el que se cultiva 'Hass' en Nayarit los DFA por los brotes de verano para completar su desarrollo floral variaron de 183 (≤ 19 °C) a 201 (≤ 20 °C) (Salazar-García *et al.*, 2007). Estas cifras son muy similares a los DFA registrados en Michoacán para este tipo de brotes, 198 (≤ 19 , 20 y 21 °C) a 210 (≤ 19 , 20 y 21 °C), y pudiera explicar el por qué sólo el modelo verano_{DFA ≤19} obtenido en Nayarit mostró la mejor capacidad

de predicción ($B_0 = 0.598$, $B_1 = 0.961$ y $R^2 = 0.94$) del desarrollo floral en brotes del flujo de verano en 'Hass' cultivado en cuatro climas que representan el 85 % de la superficie ocupada con aguacate en Michoacán. El análisis estadístico no rechazó la hipótesis de que $B_0 = 0$ y $B_1 = 1$; por lo tanto, este modelo de predicción del desarrollo floral explicó el 94 % del desarrollo floral observado durante el 2006-2007.

Es posible que el modelo verano_{DFA ≤19} también sea apropiado para los dos climas que no fueron incluidos en este estudio [(A)C(m)(w), semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano y C(m)(w), templado húmedo con abundantes lluvias en verano], dado que no hubo flujo de verano en ellos durante el año en que se realizó esta investigación.

CONCLUSIONES

El modelo de predicción verano_{DFA ≤19} desarrollado en Nayarit mostró una elevada capacidad de predicción del desarrollo floral en brotes del flujo vegetativo de verano ($R^2 = 0.94$), para un conjunto de datos de los cuatro climas del estado de Michoacán en donde se concentra el 85 % de la superficie aguacatera: cálido subhúmedo $Aw_1(w)$, semicálido subhúmedo (A)C(w_0)(w), semicálido subhúmedo (A)C(w_1)(w) + (A)C(w_2)(w) y templado subhúmedo C(w_2)(w). Los modelos de predicción invierno_{DFA ≤21}, invierno_{INTAC}, verano_{DFA ≤20} y verano_{INTAC} no fueron aptos para predecir el desarrollo floral en brotes de los flujos vegetativos de invierno, primavera o verano en ninguno de los seis climas estudiados.

AGRADECIMIENTOS

Se reconoce el financiamiento del Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Estado de Nayarit (Proy. 2003-CO1-9307), del Fondo SAGARPA-CONACYT-COFUPRO (Proy 2005-12086), de la Fundación Produce Michoacán, A. C., de la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de Michoacán, A. C., del Consejo Nacional de Productores de Aguacate, A. C. y de la Fundación Produce Nayarit, A. C. Se agradece la cooperación técnica de José L. Rocha, José Anguiano, Ana E. Bárcenas, Tztzqui Chávez y Salvador Aguirre.

LITERATURA CITADA

- ANGUIANO-CONTRERAS, J.; CORIA-ÁVALOS, V. M.; RUÍZ-CORRAL, J. A.; CHÁVEZ-LEÓN, G.; ALCÁNTAR-ROCILLO, J. J. 2003. Caracterización edáfica y climática del área productora de aguacate *Persea americana* cv. Hass en Michoacán, México. V Congreso Mundial del Aguacate. Granada, Málaga, España. 19-24 Oct. 2003. Memorias p. 323-328.
- BUTTROSE, M. S.; ALEXANDER, D. M. 1978. Promotion of floral initiation in 'Fuerte' avocado by low temperature and short daylength. *Scientia Hort.* 8:213-217.

- COSSIO-VARGAS, L. E.; SALAZAR-GARCÍA, S.; GONZÁLEZ-DURÁN, I. J. L.; MEDINA-TORRES, R. 2007. Modelos de predicción de la determinación irreversible a la floración en los aguacates 'Booth-8' y 'Choquette'. VI Congreso Mundial de la Palta-Aguacate-Avocado. Viña del mar, Chile, 12 al 16 Noviembre. Memorias, 3d-127, 11 p.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. 1981. Applied Regression Analysis. John Wiley & Sons, Inc. Second Edition. New York, USA. 709 p.
- INEGI, 1985. Síntesis geográfica del estado de Michoacán. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Secretaría de Programación y Presupuesto, D.F.
- INEGI, 2002. Síntesis geográfica del estado de Nayarit. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Secretaría de Programación y Presupuesto, D.F.
- MINITAB INC. 1996. Minitab for Windows, Release 14.12.0. U.S.A.
- NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. 1985. Applied Linear Statistical Models. Second Edition. Richard D. Irwin. Homewood, IL. USA. 1127 p.
- NEVIN, J. M.; LOVATT, C. J. 1989. Changes in starch and ammonia metabolism during low temperature stress-induced flowering in 'Hass' avocado- a preliminary report. S. African Avocado Grower's Assn. Yrbk. 12:21-25.
- SALAZAR-GARCÍA, S.; LORD, E. M.; 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.; LORD, E. M.; LOVATT, C. J. 1999. Inflorescence development of the 'Hass' avocado: commitment to flowering. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124:478-482.
- SALAZAR-GARCÍA, S.; ZAMORA-CUEVAS, L.; VEGA-LÓPEZ, R. J. 2005. Update on the avocado industry of Michoacán, México. California Avocado Soc. Yrbk. 87:31-44.
- SALAZAR-GARCÍA, S.; COSSIO-VARGAS, L. E.; LOVATT, C. J.; GONZÁLEZ-DURÁN, I. J. L.; PÉREZ-BARRAZA, M. H. 2006. Crop load affects vegetative growth flushes and shoot age influences irreversible commitment to flowering of 'Hass' avocado. HortScience 41:1541-1546.
- SALAZAR-GARCÍA, S., COSSIO-VARGAS, L. E.; GONZÁLEZ-DURÁN, I. J. L.; LOVATT, C. J. 2007. Desarrollo floral del aguacate 'Hass' en un clima semicálido. Parte II. Generación y validación de modelos de predicción del desarrollo floral. Revista Chapingo Serie Horticultura 13:93-101.
- SAS INSTITUTE INC. 2005. SAS/STAT User's Guide, Version 8, Fourth Ed. Vol. 1 and 2. SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- SÁNCHEZ-PÉREZ, J. DE LA L.; ALCÁNTAR-ROCILLO, J. J.; CORIA-ÁVALOS, V. M.; ANGUIANO-CONTRERAS, J.; VIDALES-FERNÁNDEZ, I.; TAPIA-VARGAS, L. M.; AGUILERA-MONTAÑEZ, J. L.; HERNÁNDEZ-RUIZ, G.; VIDALES-FERNÁNDEZ, J. A. 2001. Tecnología para producir aguacate en México. SAGARPA-INIFAP. Campo Experimental Uruapan. Libro técnico Núm. 1. Michoacán, México. 208 p.
- THORP, T. G.; ASPINALL, D.; SEDGLEY, M. 1994. Preformation of node number in vegetative and reproductive proleptic shoot modules of *Persea* (Lauraceae). Annals of Botany 73: 13-22.