



## Caracterización química foliar de los árboles de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drymifolia*) en los bancos de germoplasma de Michoacán, México

### Foliar chemical characterization of the creole avocado trees (*Persea americana* var. *drymifolia*) in the germplasm banks from Michoacán, Mexico

Cintia A. Rincón-Hernández<sup>1,2</sup>, José De La Luz Sánchez Pérez<sup>3</sup> y Francisco J. Espinosa-García<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua carretera a Pátzcuaro 8701, 58190 Morelia, Michoacán, México.

<sup>2</sup>Escuela de Química Farmacobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 58030 Morelia, Michoacán, México.

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Edificio B-3, 58030 Morelia, Michoacán, México.

\*Correspondencia: [espinosa@oikos.unam.mx](mailto:espinosa@oikos.unam.mx)

**Resumen.** *Persea americana* var. *drymifolia* (aguacate criollo mexicano) se emplea como portainjerto en huertos de aguacate Hass y es fuente de genes de resistencia a plagas y patógenos para éste y otros cultivares. El aguacate criollo mexicano se está sustituyendo por cultivares comerciales o perdiendo por la destrucción de ecosistemas. Por eso, se estudiaron 250 árboles (52 accesiones de 14 estados de México); 247 de criollo mexicano y 3 híbridos de éste con *P. shiedeana*, *P. americana* var. *americana* y *P. americana* var. *guatemalensis*, plantados en los bancos de germoplasma en Michoacán. Se analizó la composición química mediante cromatografía de gases-masas. Hubo alta variabilidad química entre los árboles del banco de germoplasma con los 64 compuestos detectados. El análisis de cúmulos mostró 2 grandes grupos químicos con 100% disimilitud y 22 grupos a 10% de disimilitud. Los híbridos se agruparon de manera diferente a los árboles con características típicas de criollo y difieren en su altitud de origen. Corroboramos que los volátiles foliares sirven como marcadores para diferenciar los criollos típicos de sus híbridos y que mucha variación atribuida a la variedad criolla proviene de hibridaciones en zonas de contacto de esta variedad con otras variedades o especies de *Persea*.

Palabras clave: aguacate criollo, distribución geográfica de aguacate, estragol, híbridos de aguacate, metabolitos secundarios, variación química de aguacate.

**Abstract.** *Persea americana* var. *drymifolia* (mexican creole avocado) is used as rootstock in Hass avocado orchards and it is a source of genes for resistance to pests and pathogens for this and other cultivars. The Mexican varieties are being replaced by commercial cultivars or lost by the destruction of ecosystems. Therefore, we studied 250 avocado trees of 52 accessions from 14 Mexican states; 247 mexican creole avocado and 3 hybrids of that tree with *P. shiedeana*, *P. americana* var. *americana* or *P. americana* var. *guatemalensis*, planted at germplasm banks, Michoacán. Foliar chemical composition was analyzed by GC-MS. High chemical variability among the trees was found with the 64 volatile compounds detected. Two large chemical groups on a scale of 100% dissimilarity and 22 groups at 10% dissimilarity were found by cluster analysis. The hybrids were grouped differently from the typical creole trees and were also different in the altitude of origin. We corroborate that foliar volatiles serve as markers to differentiate creole avocado trees and their hybrids and that much variation attributed to the creole variety comes from hybridization in contact zones of this variety with other varieties or species of *Persea*.

Key words: creole avocado, avocado geographical distribution, estragole, hybrid avocados, foliar secondary metabolites, chemical variation of avocado.

#### Introducción

El árbol de aguacate Hass (*Persea americana* Mill. cv. Hass) se injerta en una variedad criolla (*Persea americana*

var. *drymifolia* (Schltdl. et Cham.) S. F. Blake, que es resistente a enfermedades de raíz. El uso de portainjertos de ésta u otras variedades criollas es la base de la producción de aguacate Hass en las principales áreas cultivadas en el mundo. La variedad criolla también es fuente de genes de resistencia a plagas y enfermedades para las variedades comerciales de aguacate (Sánchez-Pérez, 1999). Además, el fruto de la variedad *drymifolia* se consume localmente

Recibido: 28 abril 2009; aceptado: 30 septiembre 2010

y tiene mucha demanda. El aguacate (*P. americana* Mill., Lauraceae) tiene 3 variedades: antillano (*P. americana* var. *americana*), guatemalteco (*P. americana* var. *guatemalensis* L. O. Wms.) y criollo mexicano (*P. americana* var. *drymifolia*) (Popenoe, 1941; Bergh et al., 1973). Estas variedades se caracterizan por el tamaño y forma del fruto, textura y color de la cáscara, tamaño de la semilla y maduración del fruto, entre otras diferencias (Lahav y Lavi, 2002).

La clasificación taxonómica infraespecífica de *Persea americana* Mill. aún es tema de debate, pues la variedad que nos ocupa, también llamada “raza mexicana”, fue descrita inicialmente como especie nueva por Schlechtendal y Chamisso en 1831 (Linnaea 6: 365. 1831) y después reducida a variedad de *P. americana* por S. F. Blake (J. Wash. Acad. Sci. 10: 15. 1920). Louis F. Williams sostuvo esta variedad y más tarde A. E. Murray la reconoció como subespecie (Kalmia 15: 17, 1985). Con respecto a la raza Guatemalteca, L. O. Williams la describió inicialmente como *Persea nubigena* L. O. Wms. var. *guatemalensis* (Econ. Bot. 31: 318. 1977), a partir de un individuo cultivado. Más tarde, R. W. Scora determinó que esta variedad pertenecía a *P. americana* (Avocado: Bot. 20. 2001), por lo que el nombre correcto quedó como *P. americana* Mill. var. *guatemalensis* (L. O. Williams) Scora.

No obstante que desde los años 80 se ha apoyado la integridad de las variedades botánicas a partir de estudios genéticos y químicos (Bergh et al., 1973; Furnier et al., 1990; Mhameed et al., 1997; Fiedler et al., 1998), y de que los árboles de estos taxa se encuentran en estado silvestre (algunos ferales) o cultivado, van der Weff (2002) desconoció todas estas variedades diciendo que eran “razas cultivadas” de *P. americana*; más aún, redujo a la sinonimia de *P. americana* a otras 10 especies o variedades, basándose exclusivamente en atributos morfológicos revisados visualmente, pero sin ningún análisis filogenético o multivariado.

Un análisis filogenético basado en caracteres morfológicos (Campos Rojas et al., 2006) determinó que muchas de las especies reducidas a la sinonimia por van der Weff (2002) merecían el estatus de especie y que las variedades o razas (mexicana y guatemalteca) de *P. americana* debían reconocerse como especies distintas, aunque habría que esperar los resultados filogenéticos que incluirían datos moleculares como los ITS para validar esta propuesta. Es claro que existe la necesidad de una revisión taxonómica que incluya datos morfológicos, moleculares, químicos y filogeográficos para desenredar la taxonomía del subgénero *Persea*. Tal confusión ha dado como resultado una gran heterogeneidad en la manera de nombrar las variedades de aguacate: unas veces como variedades taxonómicas, otras como variedades cultivadas o razas, o

bien como razas hortícolas. En este trabajo se manejan las entidades taxonómicas de *P. americana* como variedades botánicas para distinguirlas de los cultivares modernos (p. ej. Fuerte, Hass, Zutano, Bacon).

En los huertos, los árboles de *Persea americana* var. *drymifolia*, se están sustituyendo por variedades mejoradas o híbridos de alta productividad o se pierden por la destrucción de ecosistemas donde se encuentran en forma silvestre (Ben-Ya’acov et al., 1995; Sánchez-Pérez, 1999). Para atenuar el problema, diferentes instituciones han creado bancos de germoplasma de *Persea*, en los cuales se conservan árboles de diferente procedencia. Los bancos de germoplasma permiten la conservación de la variabilidad genética y el avance del conocimiento botánico y agronómico en el desarrollo de nuevos cultivares; también son una fuente de genes de resistencia contra plagas y enfermedades. Además de la variabilidad genética, se ha demostrado que la variabilidad química de una especie de planta está asociada a su susceptibilidad o resistencia a plagas y enfermedades (Rice et al., 1978; Sturgeon 1979; Langenheim et al., 1980; Gouyon et al., 1983; Langenheim et al., 1986; Cates y Redak, 1988; Linhart, 1991; Edwards et al., 1993; Espinosa-García, 2001; Langenheim, 2003).

Algunos estudios en *Persea americana* var. *drymifolia* muestran la actividad de algunos compuestos químicos contra varios de sus herbívoros y patógenos, especialmente los terpenoides y fenilpropanoides de las hojas (Sagrero-Nieves y Bartley, 1995; Rincón-Hernández y Espinosa-García, 2008). Como los terpenoides y otros metabolitos secundarios muestran un fuerte control genético, se han usado como marcadores químicos para describir variantes en especies y poblaciones de plantas (Rehfeldt, 1999; Adams, 2000; Otto y Wilde, 2001; Sabor y Skrzyszewaska, 2002; Adams et al., 2003; Nava-Cruz et al., 2006), incluidas las 3 variedades de *P. americana* (Wu et al., 2007). También han sido útiles como herramienta taxonómica en coníferas (Smith, 1983; Savage et al., 1994), como el género *Abies*, ya que han ayudado a delimitar especies e híbridos que antes habían sido clasificados como taxa diferentes de acuerdo a sus características morfológicas (Nava-Cruz et al., 2006).

En el género *Persea*, el fenilpropanoide estragol ha servido como marcador taxonómico para distinguir la variedad mexicana de otras variedades y para la identificación de híbridos (Scora y Bergh, 1992; Wu et al., 2007); otros monoterpenos y sesquiterpenos foliares fueron utilizados para distinguir la variedad *guatemalensis* de la variedad *americana* (Scora y Bergh, 1992; Scora y Scora, 1998; Scora y Scora 2000; Ogunbinu et al., 2007) y otras especies de *Persea*, como *Persea dutheie* (Padalia et al., 2009). En todos estos casos, la distinción de híbridos se ha basado en algunos compuestos y nunca en un perfil de

terpenoides o fenilpropanoides.

La variación química foliar de aguacate Hass se ha estudiado en huertos comerciales (Espinosa-García et al., 2001) y en un banco de germoplasma de *P. americana* var. *drymifolia* en Celaya, Guanajuato que tiene accesiones de 7 estados de México (Torres-Gurrola et al., 2009), pero no en los bancos de germoplasma de Michoacán, que resultan importantes por que tienen accesiones de 14 estados del país. Por lo tanto, los objetivos de este estudio son: a) determinar la variación química de *P. americana* var. *drymifolia*, en los bancos de germoplasma INIFAP Michoacán; b) confirmar si los terpenoides foliares son una herramienta para diferenciar híbridos de *P. americana* var. *drymifolia* con *P. shiedeana* y las otras variedades de *P. americana* y c) identificar si existe relación entre el origen geográfico de las accesiones de aguacate y su composición química.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en los bancos de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicados en Uruapan (19°24'26"N; 102°03'08"O; Altitud 1 620 m snm), Cupatitzio (19°25'37"N; 102°04'26"O; altitud 1 664 m snm) y Apatzingán (19°01'30"N; 102°12'25"O; Altitud 360 m snm). En estos bancos se encuentran árboles de las 3 variedades de aguacates, híbridos y otras especies de *Persea*; todos procedentes de semilla (Sánchez-Pérez, 1999). Para nuestro estudio se emplearon los árboles de *Persea americana* var. *drymifolia* y 3 híbridos de la variedad *drymifolia* entre la variedad *guatemalensis*, la variedad *americana* y *P. shiedeana*, previamente caracterizados morfológicamente por Sánchez-Pérez (1999), los números de las accesiones pertenecientes al banco de germoplasma Apatzingán son A541, A582 y A271 respectivamente. Las accesiones analizadas proceden de los siguientes estados de la República Mexicana: Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz. Los datos de origen de las accesiones fueron proporcionados por el Dr. Ignacio Vidales, Jefe del campo experimental INIFAP Uruapan.

**Toma de muestras y colectas.** Se analizó el perfil químico de 250 árboles de 52 accesiones de los bancos de germoplasma INIFAP (Cuadro 1). De cada árbol se tomaron 2 hojas jóvenes. Para este estudio es muy importante que la edad de las hojas sea similar, ya que el perfil químico varía de acuerdo con la ontogenia del tejido (Hartmann y Dietrich, 1998). Los criterios empleados para identificar una

hoja joven fueron el color verde brillante claro, y un menor grosor y mayor flexibilidad que el de las hojas maduras. Las colectas se realizaron entre el 29 de noviembre del 2003 y el 14 de febrero del 2004. Las muestras recolectadas se colocaron en una bolsa de plástico y se transportaron en un recipiente con hielo al laboratorio para su análisis químico. **Análisis químico.** Las hojas se dividieron a lo largo de la vena central y una mitad se deshidrató a 80°C durante un día para determinar el peso seco. La otra mitad se pesó en fresco y se colocó en un frasco ámbar con hexano, 1 mg de tetradecano como estándar interno, durante una semana; después la muestra se trituroó con nitrógeno líquido, se agregó el hexano del frasco, y se siguió moliendo y agregando hexano fresco hasta que el disolvente dejó de verse verde. La solución resultante se filtró con sulfato de sodio para secarla y se agregó pirogalol como agente antioxidante (Sigma-Aldrich). Después, la muestra se concentró con una corriente suave de N<sub>2</sub> gaseoso hasta 0.5 mL y se colocó en un frasco perfumero que permaneció a -20°C, hasta completar su análisis químico. Se inyectó 1 µl de la muestra en un cromatógrafo de gases Agilent HP6890, con detector de ionización de flama (FID), con inyección dividida 60:1, equipado con una columna capilar HP 5 (fenilmetil-siloxano) de 30 m de longitud, con un diámetro interno de 0.25 mm y 0.25 µm de recubrimiento. Las condiciones fueron las empleadas por Torres-Gurrola et al. (2009).

Algunas muestras se analizaron en un cromatógrafo de gases Agilent 6890 acoplado a un espectrómetro de masas Agilent 5973 (CG-MS), para determinar la identidad de los picos cromatográficos. Se usó la misma columna que en GC-FID, helio como gas acarreador y las siguientes condiciones: inyector, 250 °C; presión en el inyector, 1.23 psi; flujo en el inyector, 63.3 mL/min; flujo de helio en la columna, 0.5 mL/min; presión de helio en la columna, 1.23 psi con una velocidad de flujo 1ml/min. La interfase entre el cromatógrafo y espectrómetro se mantuvo a 280°C; el modo de ionización por impacto de electrones (70 eV); y escaneo completo (35-550 m/z). El programa de temperatura para el horno fue el que se empleó para las muestras analizadas en el GC-FID.

**Identificación y cuantificación química.** Para identificar los compuestos se compararon los espectros de masas de la biblioteca de espectros NIST 98 con los obtenidos a partir de las muestras. Cuando la concordancia de los espectros fue mayor al 95% se consideró una identificación adecuada. Para confirmar la identificación se prepararon soluciones de compuestos puros (Sigma-Aldrich) de linalool, α-cubebeno, α-pineno, β-pineno, mirceno, anetol, camfeno, nerolidol, β-cariofileno, limoneno, α-humuleno, γ-terpineol, las cuales fueron inyectadas en CG-MS para corroborar sus tiempos de retención y que sus espectros

**Cuadro 1.** Procedencia del material con clave o número de accesión de los bancos de germoplasma INIFAP y número de árboles estudiados en cada localidad. *Clave de identificación:* A, banco de germoplasma Apatzingán; B, Cupatzio y C, Uruapan, seguida del número de identificación de la accesión del banco de germoplasma<sup>1</sup>. El paréntesis indica el número de árboles con esa clave

<i>Localidad y Estado</i>	<i>Núm. de árboles</i>	<i>Clave de identificación</i>	<i>Latitud N</i>	<i>Longitud O</i>	<i>Altitud m snm</i>
Aguascalientes, Ags.	7	A356, A358, A359, A360, A361, A362, A363	21°50'46"	102°43'06"	1640
Acambaro, Gto.	4	A348, A35, A350, A352	20°01'53"	100°43'18"	1860
Celaya, Gto.	5	A352, A353, A354, A355, A636	20°37'30"	100°45'40"	1770
Comonfort, Gto.	7	A524, A525, B075, B76, B77, B78, B079	20°45'50"	100°45'25"	1790
Huehutla, Hgo.	2	C280, C281	21°08'25"	98°25'12"	140
Tecozautla, Hgo.	2	A301, A303	20°32'00"	99°38'00"	1700
Sta. Ma de los Angeles, Jal.	1	B016	22°10'15"	103°13'25"	1700
Totatiche, Jal.	1	B012	21°55'38"	103°26'35"	1760
Villa Guerrero, Jal.	1	B015	21°55'38"	103°35'37"	1760
Amanalco, Edo. Mex.	1	A504	19°15'07"	100°01'11"	2340
Donato Guerra, Edo.Mex.	1	A501	19°18'30"	100°08'32"	2200
Malinalco, Edo.Mex.	13	A217, A218, A220, A222, A223, A454, A456(2), A513, A514, A51, A646	18°56'54"	99°29'41"	1740
Ozumba de Zárate, Edo.Mex.	8	B127, B128, A226, A227, A228, A519, A520, A523	19°02'21"	98°47'37"	2340
Tenancingo, Edo. Mex.	7	A507, A508, A510, A511, A644	18°57'39"	99°35'28"	2020
Tepetlixpa, Edo. Mex.	4	A230, A521, A522(2)	19°01'33"	98°49'14"	2300
Texcoco, Edo. Mex.	1	B123	19°30'20"	98°52'55"	1820
Valle de Bravo, Edo.Mex.	8	A209, A210, A503, A505, A506, A641	19°14'22"	100°05'48"	2242
Villa Guerrero, Edo.Mex.	1	A216	18°57'36"	99°38'24"	2160
Chilchota, Mich.	5	A369, A371, A678, A679	19°50'44"	102°07'12"	1780
Peribán, Mich.	1	A625	19°31'01"	102°24'51"	1640
Queréndaro, Mich.	13	B03, B06, B08, B051, B052, B054, B055, B056, B057(2), B058, B059	19°48'33"	100°53'38"	1860
San Angel Zurumucapio, Mich.	2	B133	19°24'58"	102°07'42"	1880
Tacámbaro, Mich.	1	B81	19°14'37"	101°28'41"	1600
Tancítaro, Mich.	1	B41	19°25'34"	102°17'57"	1480
Tingambato, Mich.	6	B137, B139, A484, A485, A486, A487, A680	19°30'05"	101°51'08"	1980
Tzinzunzan, Mich.	4	B80, B100, B130, B132	19°37'40"	101°34'43"	2050

**Cuadro 1.** Continúa

<i>Localidad y Estado</i>	<i>Núm. de árboles</i>	<i>Clave de identificación</i>	<i>Latitud N</i>	<i>Longitud O</i>	<i>Altitud m snm</i>
Uruapan, Mich.	20	A14TTC, ATGB, B09, B24, B27, B30, B32, B33, B34, B35, B36, B37, B44(2), B46(2), B101, B104, B105, A681	19°25'34"	102°03'41"	1620
Zinapécuaro, Mich.	6	B60, B63(2), B64(2), B65	19°50'16"	100°49'03"	1816
Ziracuaretiro, Mich.	4	B01, B107, B108, A582	19°25'00"	101°54'40"	1380
Zitácuaro, Mich.	24	B84, B85, B87, B109(2), B110, B111, B113, B115, B118, B119, B120, B121, A206, A491, A492, A493, A494, A495, A496, A497, A498, A499, A500	19°26'54"	100°23'26"	200
Ocuituco, Mor.	2	A517, A518	18°52'22"	98°46'24"	1900
Tetela del Volcán, Mor.	4	A516(2), A648, B125	18°53'31"	98°43'46"	2200
Aramberri, N.L.	5	B20, B21, A632, A634, A635	24°05'58"	99°49'02"	1100
Achiutla, Oax.	1	A458	17°18'16"	97°29'18"	1940
Ocotlán, Oax.	1	A551	16°47'30"	96°40'31"	1500
San Pablo Etla, Oax.	10	A245, A246, A247, A463(2), A550, A651, A652, A683, A684	17°08'40"	96°45'36"	1630
Teposcolula, Oax.	2	A459, A649	17°33'02"	97°25'30"	2320
Ahuacatlán, Pue.	2	A319, A320	20°00'20"	97°51'36"	1300
Atlixco, Pue.	3	A533, A534, A535	18°54'25"	98°26'15"	1840
Huauhinango, Pue.	5	A305, A306, A308, A309, A311	20°10'00"	98°02'00"	1472
Puebla, Pue.	1	A588	19°02'36"	98°11'50"	2135
San Vicente Coyotepec, Pue.	3	A542, A543, A544	18°24'14"	97°49'52"	1900
Tepexi San Vicente, Pue.	6	A536, A537, A538, A539, A540, A541	18°34'39"	97°55'34"	1700
Totoltepec, Pue.	2	A546, A547	18°13'17"	97°51'19"	1380
Zacapoaxtla, Pue.	3	A321, A322, A323	19°54'07"	97°35'37"	1620
Zacatlán Pue.	6	A313, A314, A315, A324, A325, A326	19°54'23"	97°56'29"	1960
Tolimán, Qro.	1	B70, B71	20°51'29"	99°53'55"	1660
San Juan del Río, Qro.	3	B67, B68, B69	20°23'16"	100°00'00"	1920
San Vicente Tacubaya, S.L.P.	2	C285(2)	21°43'03"	98°35'14"	40
Tamazunchale, S.L.P.	3	A271, C277(2)	21°15'40"	98°47'30"	140
Jaumave, Tamps.	9	C295, C296, C423(4), C630(2), A630	23°24'19"	99°22'49"	760
Llera, Tamps.	2	C422(2)	23°19'04"	99°01'27"	280

**Cuadro 1.** Continúa

Localidad y Estado	Núm. de árboles	Clave de identificación	Latitud N	Longitud O	Altitud m snm
Mante, Tamps.	8	C291(3), C292, C293(4)	22°44'36"	98°58'17"	80
Altotonga, Ver.	8	A329, A331, A332, A333, A334, A335, A336, A337	19°45'47"	97°14'38"	1890

<sup>1</sup>Los números clave de las accesiones se cambian periódicamente en los bancos de germoplasma para proteger los materiales propiedad del INIFAP.

coincidieran con los de la biblioteca. Se verificó la pureza de cada pico con el software MSD chemStation. Se calcularon los tiempos de retención promedio crudos y los relativos al tetradecano.

Para cuantificar se ajustó el área del estándar interno de cada muestra a 1 mg y se calculó la concentración de cada pico, dando a su área el valor equivalente a la del estándar interno.

**Cálculo de índices Kovats.** Se emplearon 2 series de alcanos puros (*Sigma Aldrich*) C8-C20 y C21-C40, se inyectó 1.5 µl de la solución standar, en un Cromatógrafo de Gases Agilent 6890 acoplado a un espectrómetro de masas Agilent 5973 (CG-MS), empleando las condiciones mencionadas anteriormente. El cálculo experimental se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Índice Kovats} = \left( \frac{\text{TR}_{\text{compuesto}} - \text{TR}_n}{\text{TR}_N - \text{TR}_n} \right) * (100 * z) + (100 * n)$$

TR<sub>n</sub>= tiempo de retención del hidrocarburo eluido antes del compuesto desconocido; TR<sub>N</sub>= tiempo de retención del hidrocarburo eluido después del compuesto desconocido; n = número de carbonos del compuesto eluido antes que el compuesto desconocido, z = diferencia del número de átomos de carbono del hidrocarburo eluido después del compuesto desconocido, menos el hidrocarburo eluido antes del compuesto desconocido.

**Análisis estadístico.** Se realizó una matriz de concentración de los compuestos químicos identificados (mg del compuesto/g de hoja seca). Se tomaron en cuenta sólo los compuestos químicos puros y con proporción mayor a 1%. También se realizó una matriz de proporciones que expresa la concentración del compuesto químico en relación con la concentración total de todos los compuestos presentes en cada accesión. Se realizó la estandarización de la matriz con la fórmula:  $\Sigma$  (valor del compuesto<sub>i</sub> en una accesión - promedio del compuesto<sub>i</sub> en toda la muestra;  $i = 1$  /desviación estándar del compuesto<sub>i</sub> en toda la muestra) (Penrose, 1953), para eliminar la varianza entre los compuestos químicos.

Para la caracterización química de los árboles de aguacate criollo se empleó un análisis de cúmulos (matriz de distancias Manhattan y algoritmo UPGMA [promedio no ponderado de pares de grupos]) y un análisis de discriminantes, para determinar las características químicas diferentes entre los grupos encontrados. También se usó la correlación de Spearman con corrección de Bonferroni para determinar la relación entre la localidad geográfica de los árboles y los grupos químicos encontrados. Se realizó un análisis no paramétrico debido a que los datos de altitud y latitud no tenían distribución normal.

## Resultados

Se encontraron 64 compuestos químicos en la fracción volátil de las hojas jóvenes de aguacate criollo mexicano, de los que fueron identificados 41, incluyendo todos los mayoritarios: 1 ácido graso, 12 alcanos, 2 aldehídos, 2 diterpenos, 2 fenil propanoides, 9 monoterpenoides, 11 sesquiterpenoides, 1 sesterpeno y 1 triterpeno (Rincón-Hernández, 2005; Cuadro 2). La clasificación química es la siguiente:

**Ácido graso:** ácido mirístico. Alcanos: hexadecano, octadecano, nonadecano, heneicosano, eicosano, docosano, tricosano, tetracosano, pentacosano, heptacosano, octacosano, dotriacontano. **Aldehídos:** 2-hexenal, 3-metoxicinamaldehído. **Diterpeno:** fitol y fitan. **Fenil propanoides:** eugenol metil éter, estragol. **Monoterpenoides:** α-pineno, α-terpineno, β-pineno, sabineno, limoneno, eucaliptol, cis-β-ocimeno, Z,β-terpineol, linalool. **Sesquiterpenoides:** α-cubebeno, β-cariofileno, Cis,cis,cis-4,7,10-cicloundecatrieno,1,1,4,8-tetrametil, D-germacreno, γ-cadineno, nerolidol, β-nerolidol, 1-hidroxi-1,7-dimetil-4-isopropil-2,7-ciclodecadieno, D-nerolidol, óxido de cariofileno, β-bis-,benceno,1,1'-(1,2-ciclobutanodil). **Sesterterpeno:** 2,6,10,14,18-pentametil-2,6,10,14,18-eicosapenteno. **Triterpeno:** escualeno; y 23 compuestos no identificados,

**Cuadro 2.** Compuestos químicos foliares identificados en árboles de *P. americana* var. *drymifolia*. Índices Kovats obtenidos con las series de alcanos C8-C40

Número del compuesto químico	Nombre del compuesto químico o masa molecular del compuesto químico no identificado	Tiempo de retención promedio (min)	Índice Kovat (I)
1	2-hexenal	3.35	990
2	$\alpha$ -pineno	3.94	1069
3	$\alpha$ -terpineno	4.23	1108
4	$\beta$ -pineno	4.26	1112
5	Sabineno	4.34	1123
6	Limoneno	4.65	1164
7	Eucaliptol	4.68	1168
8	cis- $\beta$ -ocimeno	4.73	1164
9	Z, $\beta$ -terpineol	5.01	1217
10	Linalool	5.13	1240
11	Estragol	5.93	1356
12	$\alpha$ -cubebeno	7	1508
13	Eugenol metil éter	7.28	1554
14	$\beta$ -cariofileno	7.52	1593
15	Cis, cis, cis-4,7,10-cicoundecatrieno, 1,1,4,8-tetrametil	7.74	1631
16	D-germacreno	7.91	1659
17	Nerolidol	8.1	1692
18	$\gamma$ -cadineno	8.11	1693
19	$\beta$ -nerolidol	8.29	1724
20	Hexadecano	8.41	1745
21	3-Metoxicinamaldehido	8.43	1748
22	1-hidroxi-1,7-dimetil-4-isopropil-2,7-ciclododecadieno	8.49	1759
23	D-nerolidol	8.52	1764
24	Óxido de cariofileno	8.59	1776
25	Ácido mirístico, metil, éster	9.19	1878
26	$\beta$ -bis-,benzeno,1,1'-(1,2-ciclobutanodil)	9.58	1945
27	Heptadecano	9.7	1966
28	Nonadecano	10.24	2044
29	Fitan	11.28	2207
30	Fitol	11.53	2254
31	Heneicosano	11.97	2335
32	Eicosano	12.08	2356
33	Docosano	12.46	2427
34	Tricosano	12.53	2440
35	Tetracosano	12.96	2524

**Cuadro 2.** Continúa

Número del compuesto químico	Nombre del compuesto químico o masa molecular del compuesto químico no identificado	Tiempo de retención promedio (min)	Índice Kovat (I)
36	2,6,10,14,18-pentametil-2,6,10,14,18-eicosapentano		
	Pentacosano	12.98	2528
37	Pentacosano	13.06	2544
38	Heptacosano	14.46	2840
39	Octacosano	14.52	2852
40	Escualeno	15.35	3005

generalmente con menos del 1% de cada muestra (Rincón-Hernández, 2005).

*Caracterización química foliar de los árboles de los bancos de germoplasma INIFAP Michoacán.* Se encontraron 2 grandes grupos químicos (Fig. 1). El grupo A que contiene el 17.5% de la muestra y está integrado por varios subgrupos el A1, A2 y A3 que representan el 4.4%, 7.9% y 5.2% respectivamente, y son diferentes entre sí en un 60%. El grupo B representa el 82.5% de la muestra; está integrado por 2 subgrupos, el B1 y el B2, que representan el 18.2% y el 64.3% respectivamente, y son diferentes entre sí en un 40%. El subgrupo B1 lo integran los subgrupos B1-1 y B1-2 que contienen el 9.5% y 8.7% respectivamente, y son diferentes entre sí en un 25%. El subgrupo B2 está integrado por los subgrupos B2-1 y el B2-2, los cuales representan un 37.7% y 26.6% respectivamente, y son diferentes entre sí en un 18%. A una escala de 10% de disimilitud se encontraron 22 grupos químicos en toda la muestra.

*Caracterización química de los grupos.* De acuerdo con el análisis de discriminantes (Cuadro 3), los compuestos químicos representativos entre los grupos A y B son el pentacosano,  $\alpha$ -cubebeno, heptacosano, ácido mirístico metil éter,  $\beta$ -bis-, benceno, 1,1'-(1,2-ciclobutanedil),  $\beta$ -cariofileno,  $\beta$ -pineno y principalmente el estragol, que en el grupo A es del 10% y en el grupo B 65%. La diferencia más notable entre los grupos B2 es el estragol, con 86% de concentración promedio para B2-1-1 y 75% para B2-1-2. El  $\alpha$ -pineno,  $\beta$ -pineno y  $\beta$ -cariofileno presentan al menos el doble de concentración en el grupo B2-1-2 que en el B2-1-1. (Cuadro 4).

*Clasificación química de los híbridos previamente caracterizados.* En el grupo A se encuentran dos híbridos, *Persea americana* var. *drymifolia* x *P. shiedeana* y el *P. americana* var. *drymifolia* x *P. americana* var. *americana* (accesiones A271 y A582) en el subgrupo A2, subgrupo A2-2 y en el subgrupo A3, subgrupo A3-2, respectivamente (Figura 2). El híbrido colectado *P. americana* var. *drymifolia* x *P. ame-*

*ricana* var. *guatemalensis* (accesión A541), previamente caracterizado morfológicamente (Sánchez-Pérez, 1999), se encuentra en el subgrupo B1, en el subgrupo B1-2-3 (Fig. 3).

La principal diferencia química entre los grupos es la concentración promedio del fenilpropanide estragol: en el grupo A es de 10% mientras que en el B es de 65%; en el subgrupo B1, donde se encuentra el híbrido de *P. americana* var. *drymifolia* x *P. americana* var. *guatemalensis*, la concentración del estragol es de 35%; y en el subgrupo B2, donde no se encontró ningún híbrido, la concentración es del 73%. (Fig. 4).

El grupo B2 tiene 2 subgrupos a una escala de disimilitud del 10%; B2-1 y B2-2, los cuales se diferencian principalmente por 11 compuestos químicos (Figs. 5a y 5b). El compuesto más representativo es el estragol (no incluido en la figura) con una concentración promedio del 80% en B2-1 y 64% en B2-2. Se incluye un cromatograma de la accesión 305, representativo del grupo químico B2 (Fig. 6).

*Localización geográfica de los grupos.* Se realizó una comparación de Mann-Whitney entre los 2 grupos químicos (A y B) con respecto al lugar de procedencia (altitud, latitud y longitud) de los árboles de *P. americana* var. *drymifolia* (Cuadro 5). Se encontró que existe diferencia entre la altitud de origen de las accesiones; las localidades de origen del grupo A se encuentran entre 1 250 y 1 800 m snm y las del grupo B entre los 1 500 y 1 800 m snm. No hubo diferencias significativas entre los grupos atribuibles a la latitud o a la longitud.

En cuanto a la distribución geográfica de árboles típicos de *Persea americana* var. *drymifolia* (grupo B2), el origen de los árboles en el B2-1 se distribuye primordialmente en estados del centro de México al igual que el origen de la mayoría de los árboles en el grupo B2.2. La mayoría de las variantes químicas *P. americana* var. *drymifolia* coinciden en las mismas regiones, excepto las del grupo B2.2 que también se encuentran en los estados



**Cuadro 3.** Análisis de discriminantes entre los grupos A y B con los compuestos foliares de los árboles de *P. americana* var. *drymifolia*, con 13 variables incluidas en el modelo. Lambda de Wilks: 0.34 aprox. F (13,238)=34.888 p<0.0000

	<i>Lambda de Wilks</i>	<i>Lambda parcial</i>	<i>F</i> (1,238)	<i>p</i>	<i>Tolerancia</i>	<i>Tolerancia -R<sup>2</sup></i>
Pentacosano	0.36	0.95	12.36	***	0.81	0.19
α-cubebeno	0.35	0.98	5.86	**	0.86	0.14
Octacosano	0.36	0.96	11.87	***	0.82	0.18
Ácido mirístico, metil, ester	0.36	0.96	8.98	***	0.84	0.16
β-bis-, benceno, 1,1'-(1,2-ciclobutanedil)	0.37	0.93	16.98	****	0.27	0.73
β-cariofileno	0.36	0.97	7.95	**	0.75	0.25
α-pineno	0.35	0.97	7.47	**	0.25	0.75
Estragol	0.50	0.67	119.71	****	0.65	0.35

\* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001, y \*\*\*\* p<0.0001.

**Cuadro 4.** Abundancia entre los compuestos químicos foliares de los subgrupos de B2. Picos cromatográficos obtenidos mediante CG-MS

<i>Nombre del compuesto químico</i>	<i>Porcentaje promedio B2-1-1</i>	<i>Error estándar (+/-)</i>	<i>Porcentaje promedio B2-1-2</i>	<i>Error estándar (+/-)</i>
α-pineno	0.862	0.013	1.503	0.022
β-pineno	1.280	0.022	1.845	0.024
Estragol	85.609	0.069	75.088	0.216
β- cariofileno	1.415	0.024	3.098	0.174

**Cuadro 5.** Comparación de Mann-Whitney entre los grupos químicos y la procedencia de los árboles de *Persea americana* var. *drymifolia*. Relación entre los grupos químicos obtenidos de la figura 1 (A, B) y el lugar de origen de los árboles colectados en los bancos de germoplasma. Bonferroni p < 0.025

<i>Mann-Whitney U</i>	<i>Rank Sum A</i>	<i>Rank Sum B</i>	<i>U</i>	<i>Z</i>	<i>Valor de p</i>	<i>Z ajustada</i>	<i>Valor de p</i>	<i>nA</i>	<i>nB</i>
Altitud	3882	26994	2936	-3.441	0.001	-3.445	0.001	43	205
Latitud	6088.5	24787.5	3672.5	1.719	0.086	1.719	0.086	43	205

de Nuevo León, Tamaulipas, Norte de Veracruz, Jalisco, Aguascalientes y Oaxaca, en los que no hay variantes del grupo B2-1 (Fig. 7).

## Discusión

Casi todos los compuestos químicos encontrados en las hojas jóvenes de aguacate criollo mexicano (Cuadro 2) ya habían sido registrados, como el  $\beta$ -cariofileno,  $\alpha$ -cubebeno, eugenol metil éter, D-germacreno, 2-hexanal, hexadecano, linalool, limoneno, nerolidol, octadecano,  $\alpha$ -pineno,  $\beta$ -pineno y, como componente mayoritario, el estragol (Sagrero-Nieves y Bartley; 1995; Scora y Scora, 200; Wu et al., 2007; Bravo-Monzón y Espinosa-García, 2008; Torres-Gurrola et al., 2009). Existe una gran diversidad de compuestos químicos que ya han sido registrados en aguacate, pero no se encontraron en las hojas jóvenes de *P. americana* var. *drymifolia*, y un compuesto químico, que sólo se ha encontrado en las hojas jóvenes (Rincón-Hernández y Espinosa-García, 2008); estas diferencias químicas pueden deberse a la ontogenia de las hojas, como en el caso de *Umbellularia californica* (Goralka et al., 1996); al uso de hojas maduras (Torres-Gurrola et al., 2009); volátiles foliares emitidos por hojas vivas (Bravo-Monzón y Espinosa-García, 2008) o al uso del aceite esencial de uno, o de muestras compuestas de muy pocos individuos de *P. americana* var. *drymifolia* (Sagrero-Nieves y Bartley; 1995; Scora y Scora, 2000).

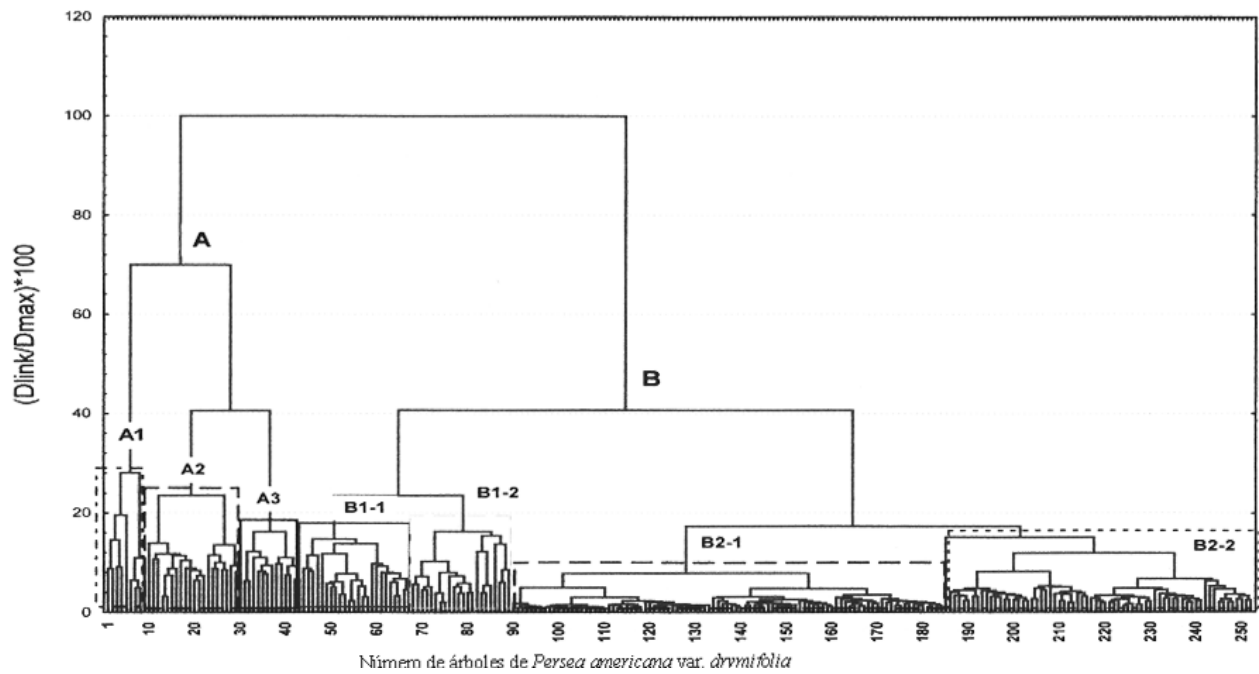
**Caracterización química.** Se encontró una gran variabilidad química foliar en *Persea americana* var. *drymifolia*, en los bancos de germoplasma INIFAP, Michoacán, se analizaron 250 árboles de 14 estados en 52 accesiones. Esto es similar a lo encontrado en hojas maduras de aguacate criollo del banco de germoplasma INIFAP, Celaya, con 291 árboles de 7 estados en 35 accesiones (Torres-Gurrola et al., 2009). Comparando esta clasificación química con la obtenida por Torres-Gurrola et al. (2009), también se observan 2 grupos químicos mayoritarios, cada uno con el 49% de los árboles. En uno de los grupos, la concentración promedio de estragol es de 18.5%, y en el otro de 69.2%. En los bancos de germoplasma de Michoacán también hay varios grupos similares a los que se acaban de mencionar, pues el grupo B2 que contiene los árboles típicos de la variedad *drymifolia* tiene el 64% de los árboles y el resto de los árboles, que posiblemente son híbridos, están en el grupo A y el B1.

Esta variabilidad puede estar asociada a la susceptibilidad o resistencia a plagas y enfermedades, al origen geográfico de los árboles que frecuentemente presentan diferencias en su expresión genética (Rice et al., 1978;

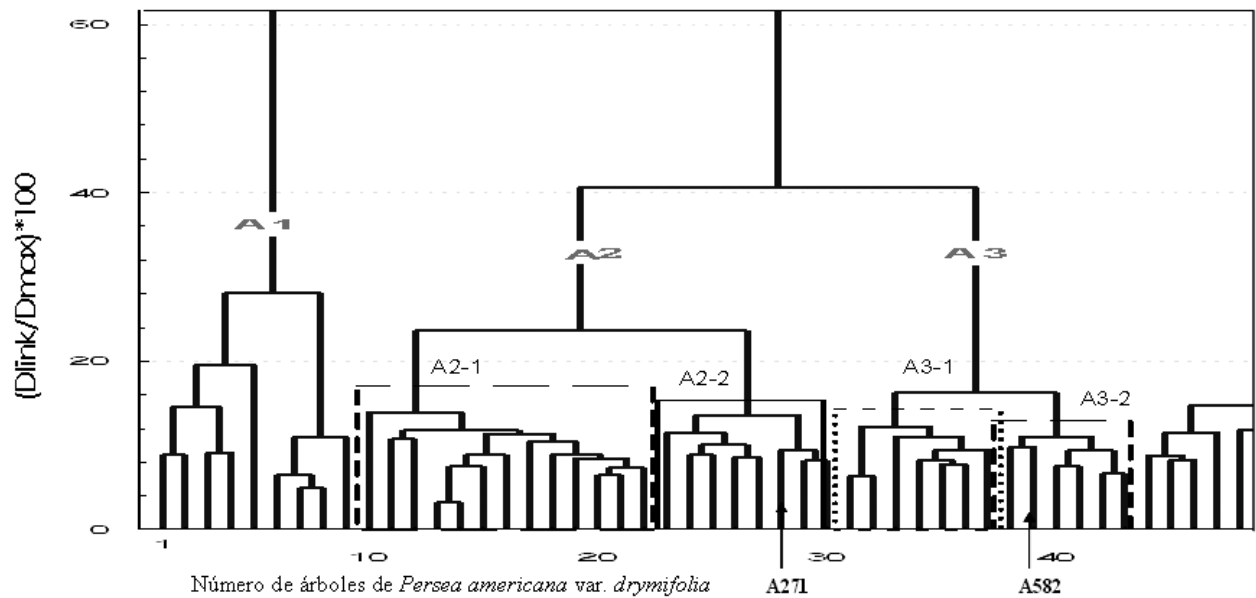
Sturgeon, 1979; Gouyon et al., 1983; Cates y Redak, 1988; Langenheim et al., 1980; Langenheim, 1986; Linhart, 1991; Edwards et al., 1993; Espinosa-García, 2001; Langenheim, 2003), o bien a las cruzas y retrocruzas que posiblemente han ocurrido cuando las variedades han estado en contacto debido a la acción humana directa o indirecta (Galindo-Tovar et al., 2008).

El componente químico mayoritario en los bancos de Michoacán es el estragol, al igual que en el banco de germoplasma de Celaya analizado por Torres-Gurrola et al. (2009). Este fenilpropanoide ha servido para distinguir *P. americana* var. *drymifolia* de otras variedades y para detectar híbridos. Para la identificación del taxón, el estragol debe representar un 60% o más del aceite esencial (Scora y Bergh, 1992). Se propone, así, que los árboles que pertenecen al grupo químico A son híbridos con características dominantes a la variedad distinta a la *drymifolia*, ya que en éstos la proporción del estragol es mucho menor al 60% (Scora y Bergh, 1992). Se han realizado otros trabajos en los bancos de germoplasma INIFAP Michoacán, como el de Cuiris et al. (2009), realizado en el de Uruapan, Michoacán, uno de los incluidos en este estudio, en el que emplearon marcadores moleculares de tipo microsatélites (ISSR). Ellos encontraron 2 grupos, como en el presente trabajo (B1 y B2), y concluyen que existe una gran variabilidad genética dentro de *P. americana* var. *drymifolia*. Estas aseveraciones coinciden con los datos químicos de este trabajo; lamentablemente no podemos hacer una comparación entre la variabilidad química y genética, debido a que los números de las accesiones se cambian periódica e intencionalmente por el INIFAP para proteger su material. **Clasificación química de los híbridos previamente caracterizados.** Encontramos que los híbridos se encuentran en grupos diferentes, lo que sugiere que los compuestos químicos foliares encontrados nos ayudaron a diferenciar árboles de *P. americana* var. *drymifolia* de híbridos.

**Ubicación geográfica de los híbridos.** Se sabe que las variedades de *Persea americana* pueden hibridizarse fácilmente entre sí y con *P. shiedeana* (Mijares-Oviedo y López-López, 1998), y que los terpenos o fenilpropanoides pueden usarse para identificar las variedades y los híbridos (Scora y Bergh, 1992; Wu et al., 2007). Por lo anterior, esperábamos que el análisis de cúmulos ubicara a los híbridos caracterizados por Sánchez-Pérez (1999) en grupos separados de los de la variedad *drymifolia*, lo que así ocurrió, pues los híbridos A271, A541 y A582 se encuentran en los grupos A y B1. La existencia de híbridos con diferente dominancia de los progenitores fue confirmada por Chen et al. (2009). Por ejemplo, el aguacate Hass es un híbrido con 58% de su material genético proveniente de la variedad *guatemaltensis* y 42% de la variedad *drymifolia*. La accesión A541, que es el híbrido entre *Persea ameri-*



**Figura 1.** Dendrograma de disimilitud de árboles de *Persea americana* var. *drymifolia* de los bancos de germoplasma INIFAP de Uruapan, Cupatitzio y Apatzingán. La matriz de distancia fue calculada con el algoritmo *city-block* (Manhattan) y el algoritmo UPGMA para formar los grupos.  $(Dlink/Dmax) * 100$  es el porcentaje de disimilitud.



**Figura 2.** Dendrograma de subgrupos A. Las flechas indican la ubicación de los híbridos de *Persea americana* var. *drymifolia* x *P. americana* var. *americana* y *P. americana* var. *drymifolia* x *P. shiedeana*.

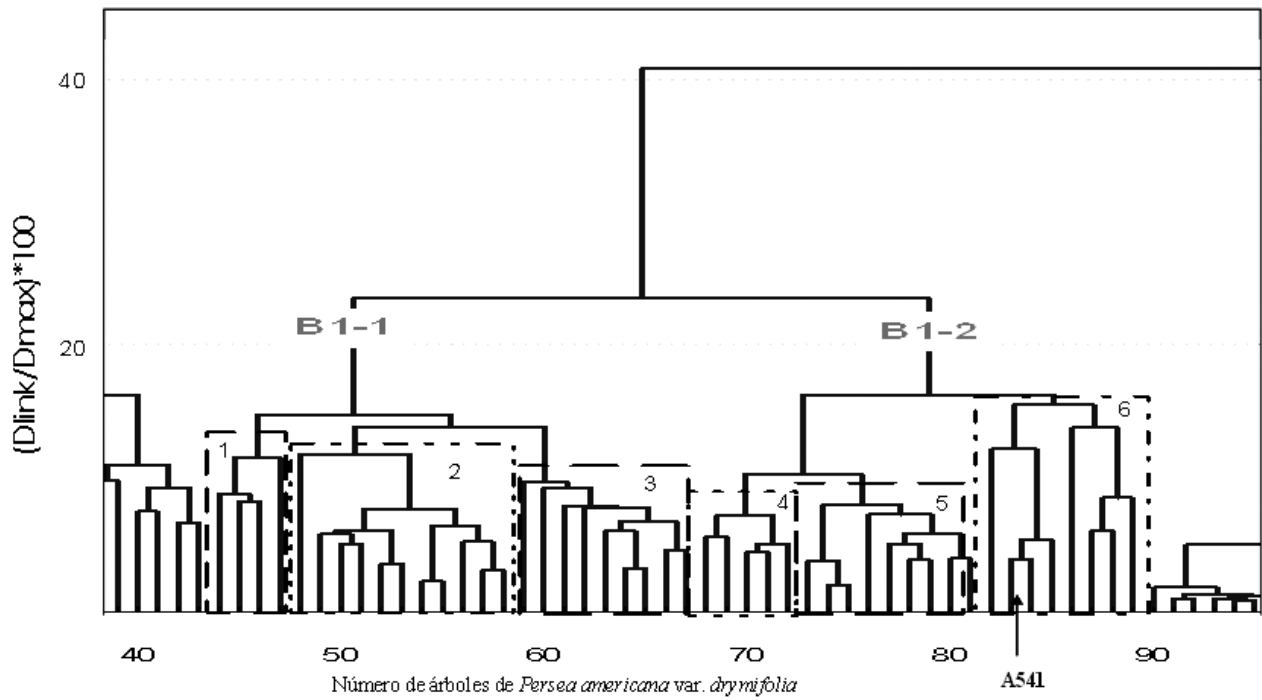


Figura 3. Dendrograma de subgrupos químicos de B1 y el híbrido *Persea americana* var. *drymifolia* x *P. americana* var. *guatemalensis*. La flecha indica el híbrido. Donde: subgrupo 1 = B1-1-1, subgrupo 2 = B1-1-2, subgrupo 3 = B1-1-3, subgrupo 4 = B2-2-1, subgrupo 5 = B1-2-2, subgrupo 6 = B1-2-3.

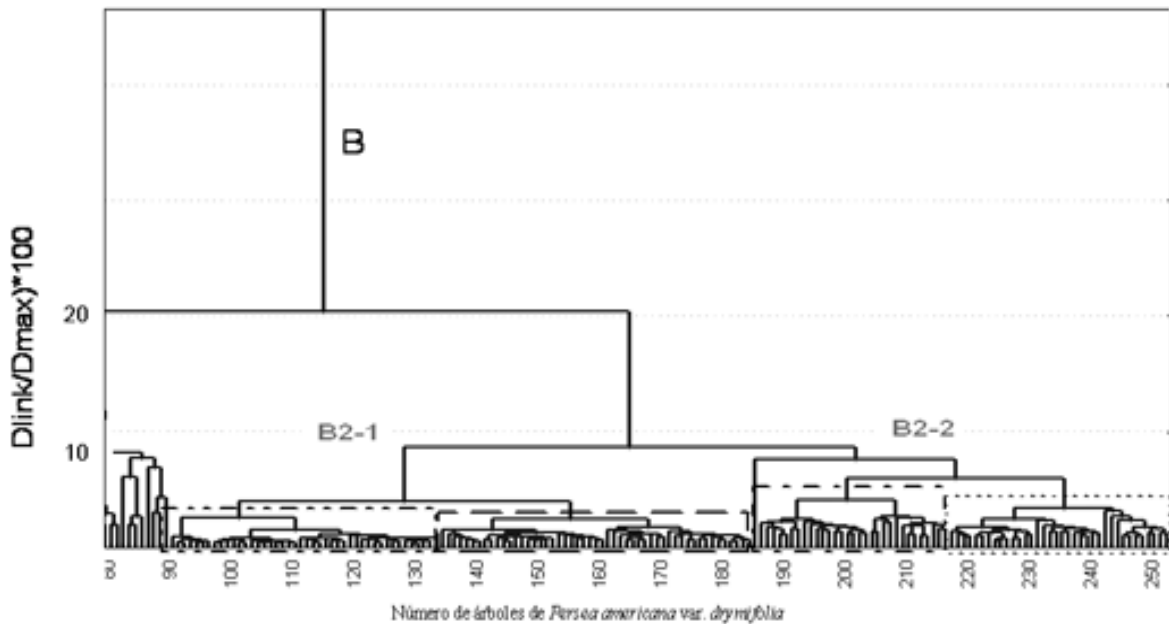


Figura 4. Dendrograma de subgrupos químicos de B2, árboles de *Persea americana* var. *drymifolia*.

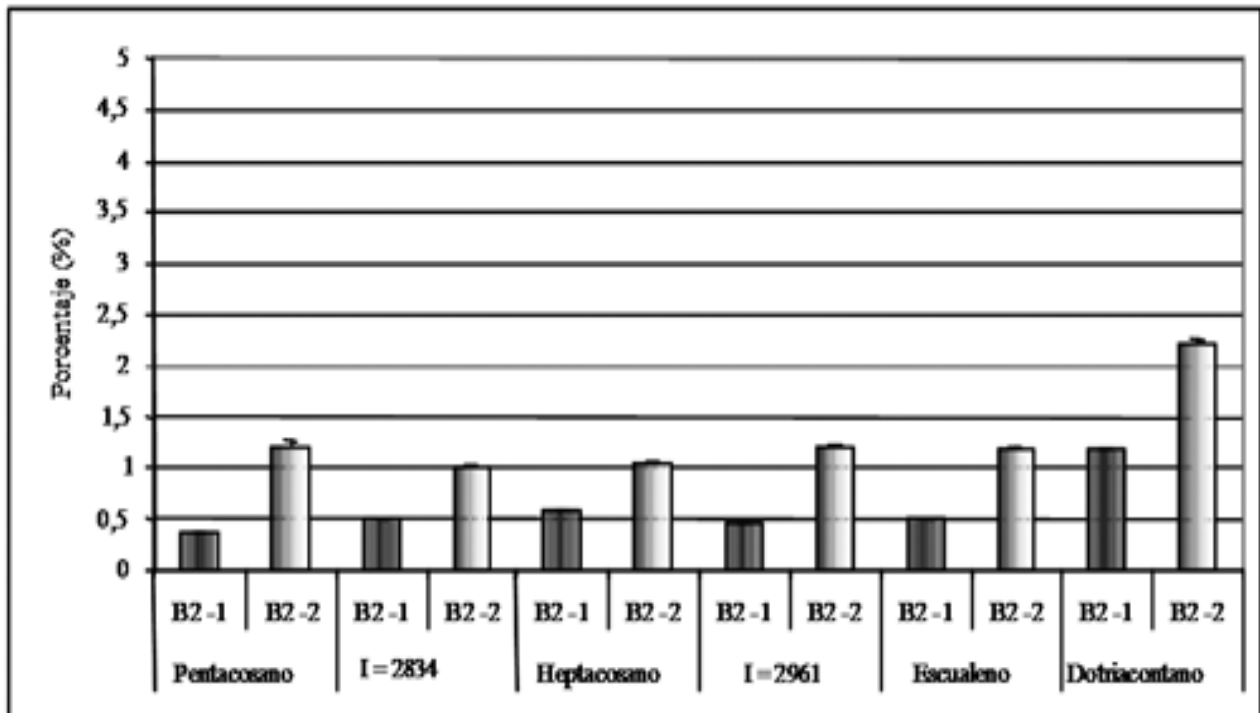
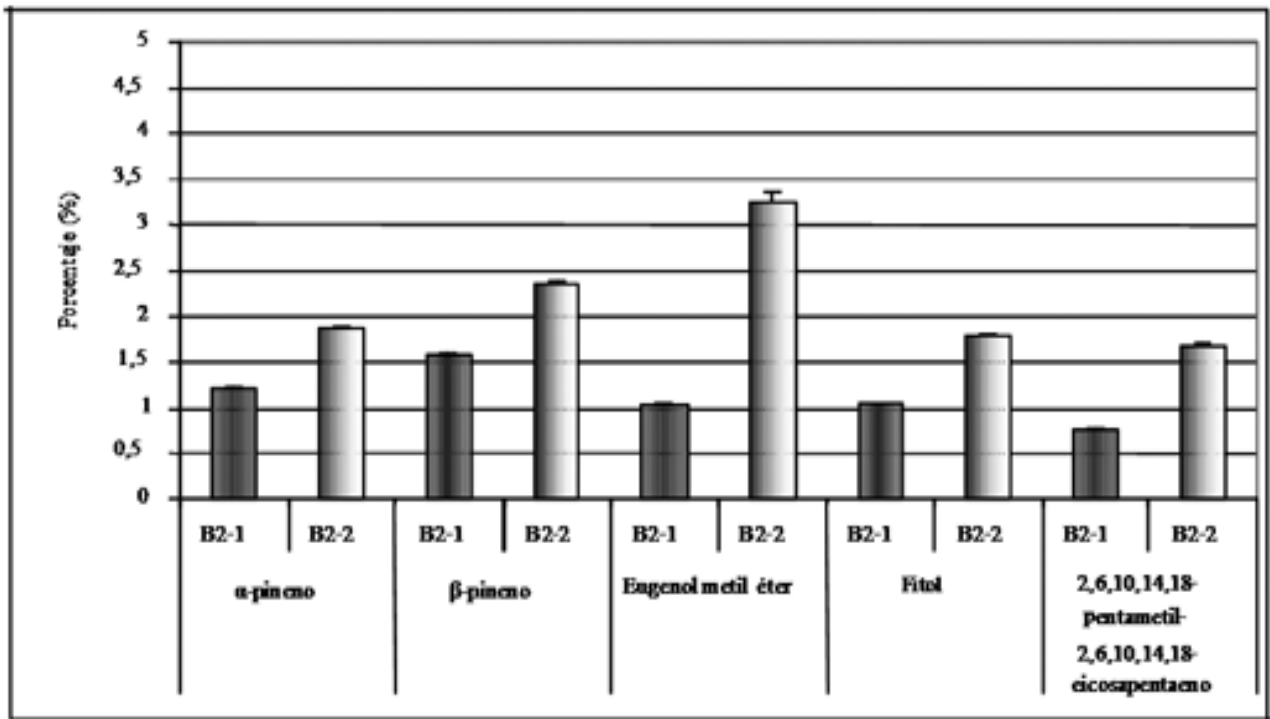
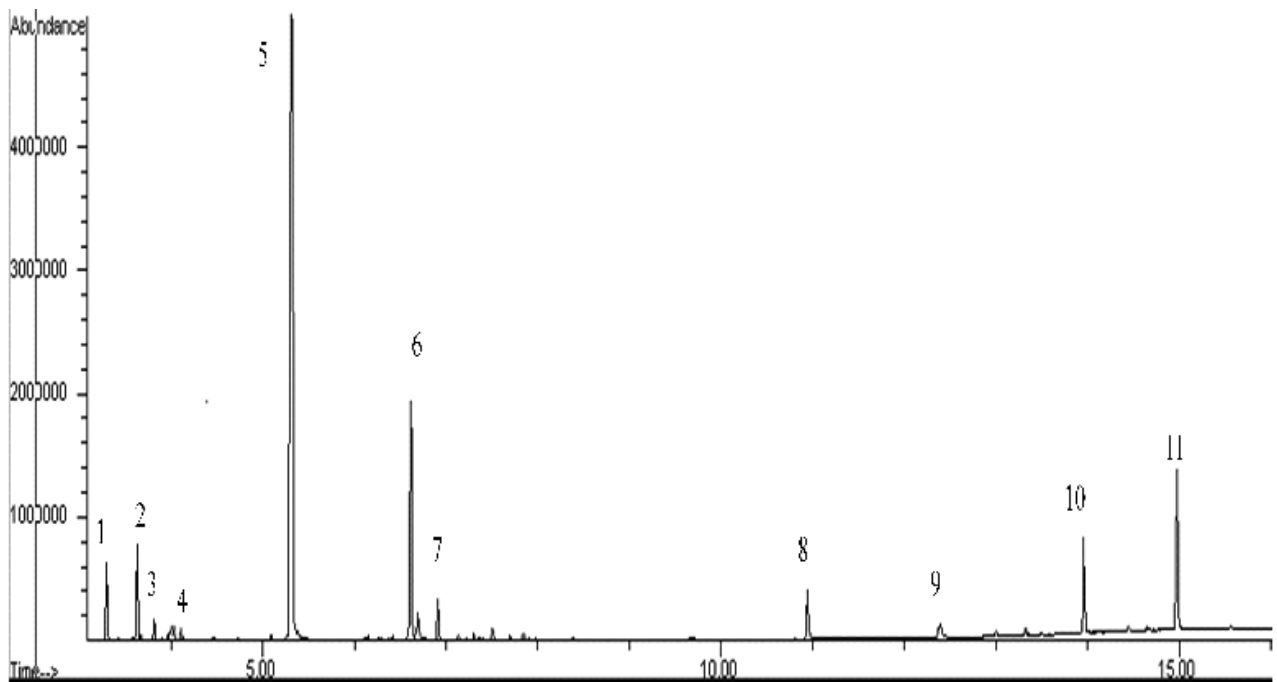


Figura 5. a) diferencias químicas foliares entre los subgrupos de B2.; b) diferencias químicas foliares entre los subgrupos de B2. Donde: I = Índice Kovat.



1. 2-hexanal, 2.  $\alpha$ -pineno, 3.  $\beta$ -pineno, 4. Sabineno, 5. Estagol, 6. Tetradecano 7.  $\beta$ -cariofileno, 8. Octadecano, 9. Docosano, 10. Heptacosano, 11. Escualeno.

Figura 6. Cromatograma representativo del grupo químico B2 (accesión 305).

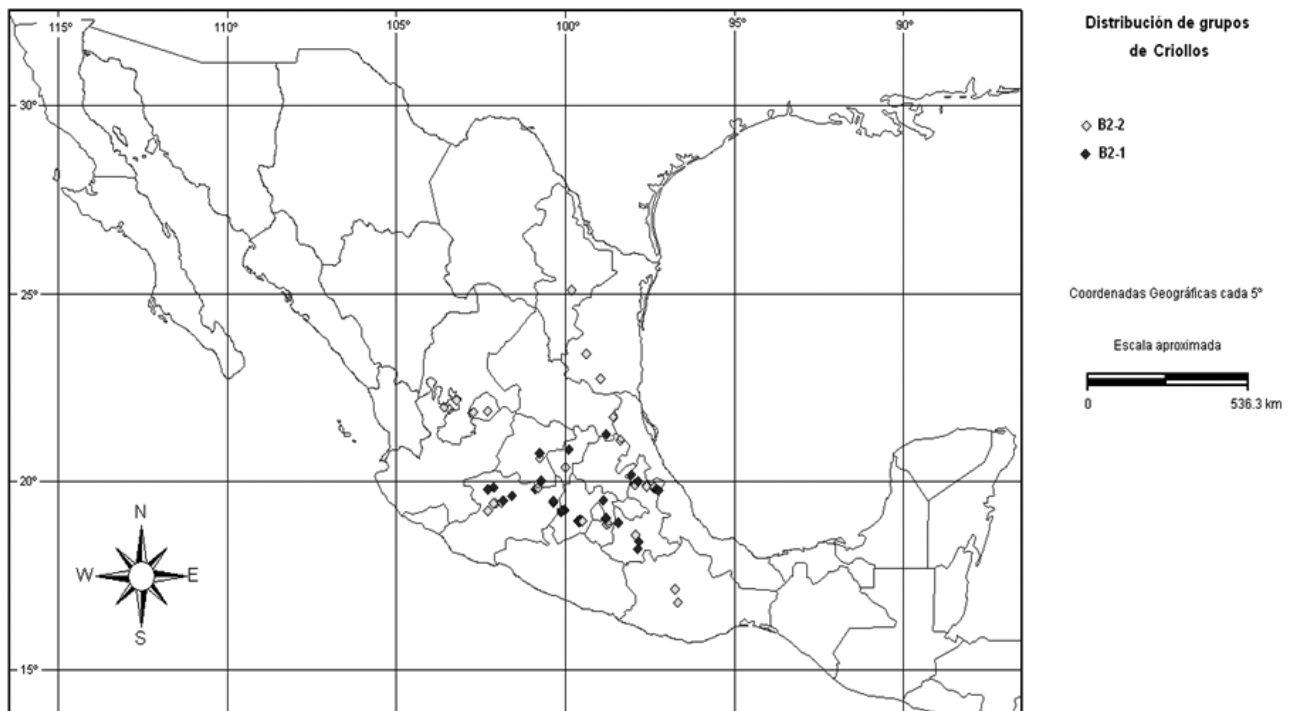


Figura 7. Distribución geográfica de los grupos químicos de aguacate criollo.

*cana* var. *drymifolia* x *P. americana* var. *guatemalensis*, estuvo en el grupo B1, donde predominaron las características químicas de la variedad *drymifolia*. Esto podría explicarse si este híbrido fuera resultado de retrocruzas de un híbrido 50-50, *P. americana* var. *drymifolia* x *P. americana* var. *guatemalensis* con *P. americana* var. *drymifolia*, tal como ocurrió con el cultivar Noga, con 71% de la variedad *drymifolia* y 29% de la variedad *guatemalensis*, o el cultivar Fuerte con 99% de predominancia de la variedad *drymifolia* (Chen et al., 2009).

Como en el grupo químico B2 no se encontró ningún híbrido previamente caracterizado, sugerimos que son árboles típicos de *Persea americana* var. *drymifolia*. Este tipo de agrupación también ocurrió con los árboles del banco de germoplasma de Celaya; el grupo IIB2 tuvo en promedio 69% de estragol, mientras que en otros grupos de jerarquía equivalente, la concentración promedio fue de 18.5% o menor (Torres-Gurrola et al., 2009). Esto sugiere que hay híbridos no detectados en el banco de germoplasma de Celaya. Se sabe que las variedades de aguacate se encuentran a diferentes altitudes: *P. americana* var. *americana* a menos de 1 000 m snm. *P. americana* var. *guatemalensis* de los 1 000 hasta los 2 000 y *P. americana* var. *drymifolia* de los 1 500 a 3 000 (Popenoe, 1952), aunque pueden existir algunas excepciones, como el ejemplar tipo de la variedad *drymifolia*, proveniente de Papatla, Ver., que está ubicada a 180 m snm. Algunas de estas excepciones pueden deberse a individuos que han sido plantados en este tipo de localidades. Si consideramos que las variedades *guatemalensis* y *americana* se desarrollan en elevaciones menores que la variedad *drymifolia* y que los híbridos se desarrollan en altitudes intermedias a las típicas de los progenitores, entonces la altitud en la que se desarrollan los árboles y su composición química sugiere si son híbridos o no. La altitud de la cual provienen las accesiones del grupo A está entre los 1 250 y los 1 800 m snm, que representa un intervalo altitudinal menor al del grupo B, que agrupa a los probables árboles de *P. americana* var. *drymifolia* e híbridos que va de los 1 500 a 2 000 m snm. Esto hace más fuerte nuestra suposición de que los árboles pertenecientes al grupo A son híbridos con características dominantes de las variedades diferentes a la variedad *drymifolia*, ya que éstas se encuentran en altitudes menores que la variedad *drymifolia*, mientras que en el grupo B, los supuestos híbridos con características dominantes de *P. americana* var. *drymifolia*, se encuentran en una altitud promedio de 1 500 a 2 000 m snm.

El fenilpropanoide estragol y los compuesto químicos foliares, se confirmaron como buenos marcadores químicos, ya que permitieron distinguir los híbridos de los árboles típicos de aguacate criollo. En el cultivar Hass, el compuesto foliar volátil dominante es el  $\beta$ -cariofileno; el

estragol está ausente o en muy bajas proporciones (Espinoso-García et al., 2001). La distinción química concuerda geográficamente con las diferencias en la altitud de origen de híbridos y árboles típicos de *P. americana* var. *drymifolia*. Torres-Gurrola et al. (2009), también encontraron una distribución altitudinal diferente para el origen de los árboles con más de 60% de estragol y los que tenían cerca del 20% de este compuesto químico.

El hallazgo de un grupo numeroso de accesiones con características híbridas que tiene orígenes altitudinales menores que los árboles típicos de aguacate criollo, sugiere que mucha de la variación genética hasta ahora atribuida a la variedad criolla, en realidad proviene de hibridaciones ocurridas en las zonas de contacto de esta variedad con otras variedades o con *P. schiedeana*. Los contactos entre variedades posiblemente se dieron después de que las variedades evolucionaron separadamente (Chen et al., 2009) y después que ocurrieron varios eventos de domesticación por pueblos precolombinos (Galindo-Tovar et al., 2008) y de que hubo intenso comercio e intercambio de frutos en la época precolombina y en la colonial (Galindo-Tovar et al., 2008).

*Localización geográfica de los grupos.* La mayoría de las accesiones se encuentran en la Faja Volcánica Trans-Mexicana, área donde se concentran la mayoría de los recursos genéticos de este aguacate (Sánchez-Pérez, 1999). La mayor variación química en la Faja Volcánica Trans-Mexicana también fue observada en el banco de germoplasma de Celaya (Torres-Gurrola et al., 2009). En cuanto a la distribución de las variantes químicas típicas del aguacate criollo (grupos B2-1 y B2-2), encontramos que ambas coexistían en la Faja Volcánica Trans-Mexicana, pero que la variante B2-2 se encontraba sola en la fracción de la sierra Madre Oriental correspondiente al norte de Veracruz, Tamaulipas y Nuevo León, en la vertiente del golfo, y en Aguascalientes, Jalisco y Oaxaca, del lado del Pacífico. Una posibilidad de explicar esta distribución es que la variante B2-2 fue llevada a estos estados por el ser humano debido a alguna característica como el sabor, pues la concentración promedio de estragol en esos árboles (64%) es menor que la concentración de los árboles del grupo B2-1 (80%). Otra posibilidad es que los árboles de la variante B2-2 podrían tener un intervalo de tolerancia mayor a las condiciones climáticas que la otra variante, y que su presencia en esos estados ocurrió por medio de diseminación natural. Uno de los problemas de los bancos de germoplasma de aguacate de Michoacán es la poca o nula representación de los aguacates criollos de Chiapas. Sería deseable que hubiera más accesiones de estos estados para caracterizar sus variantes químicas.

*Persea americana* var. *drymifolia* presenta una gran diversidad genética (Ben-Ya'acov et al., 1992a; Chen et

al., 2009; Cuiris et al., 2009) y química (Torres-Gurrola et al., 2009), ya sea en sus variantes híbridas o típicas. Este trabajo sugiere que en los bancos de germoplasma INIFAP de Michoacán, existe una gran diversidad química y por lo tanto genética, ya que los terpenos muestran un fuerte control genético (Rehfeldt, 1999; Adams, 2000; Otto y Wilde, 2001; Sabor y Skrzyszewaska, 2002; Adams et al., 2003; Nava-Cruz et al., 2006; Keszei et al., 2010), por lo que los bancos deben seguir conservándose y aumentando su tamaño para cubrir todas las zonas donde crece el aguacate criollo.

Se recomienda continuar recolectando material sobresaliente del país para mejorar la colección y mantener el ya existente en los bancos de germoplasma. También se recomienda continuar con trabajos de caracterización química y relacionarla experimentalmente con la resistencia a plagas y enfermedades para mejorar la producción y calidad del aguacate.

### Agradecimientos

Al Dr. Ignacio Vidales Fernández, jefe del Campo experimental Uruapan, por permitirnos el acceso a los bancos de germoplasma. Asimismo, a las siguientes personas: Geóg. Jesús Fuentes Junco, Biól. Yolanda García R., M.C. Guadalupe Torres G., QFB Yurixhi Maldonado, Biól. Ángel Bravo, QFB Saúl Bernabé, Dr. Santiago Arizaga, M.C. Heberto Ferreira e Ing. Alberto Valencia, por su ayuda técnica en varios aspectos. Esta investigación fue financiada por el Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM (POFJE) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través del Proyecto 34895-V otorgado a FJEG.

### Literatura citada

- Adams, R. P. 2000. Systematics of the one seeded *Juniperus* of the eastern hemisphere based on leaf essential oils and random amplified polymorphic DNAs (RAPDs). *Biochemical Systematics and Ecology* 28:529-543.
- Adams, R. P., A. E. Schwarzbach y R. N. Pandey. 2003. The concordance of terpenoid, ISSR and RAPD markers, and ITS sequence data sets among genotypes: an example from *Juniperus*. *Biochemical Systematics and Ecology* 31:375-387.
- Ben-Ya'acov, A., L. López-López, E. De La Cruz-Torres y A. F. Barrietos-Priego. 1992. A study of avocado germoplasma resources, 1988-1990. II. Findings from the central part of México. *Proceedings of Second World Avocado Congress*, April 21-26, 1991, Orange California, University of California/California Avocado Society, Riverside. p.543-544
- Ben-Ya'acov, A., M. Solis y E. Peri. 1995. Progress of the study of avocado genetic resources II. The avocado genetic resources in Costa Rica. Program and book of abstracts of the III World Avocado Congress, October 22-27, 1995, Tel Aviv. 109 p.
- Bergh, B. O., R. W. Scora y W. R. Storey. 1973. A comparison of the leaf terpenes in *Persea* subgenus *Persea*. *Botanical Gazette* 134:130-134.
- Bravo-Monzón, A. E. y F. J. Espinosa-García. 2008. Volatile emissions in *Persea americana* in response to the stem borer *Copturus aguacatae* attack. *Allelopathy Journal* 21:165-174.
- Campos-Rojas, E., T. Terrazas y L. López-Mata. 2006. *Persea* (avocados) phylogenetic analysis based on morphological characters: of species relationships. *Genetic Resources and Crop Evolution* DOI 10.1007/s10722-005-3808-x.
- Cates, R. G. y R. A. Redak. 1988. Variation in the terpene chemistry of Douglas-fir and relationship to Western spruce budworm success. *In* Chemical mediation of coevolution, K.C. Spencer (eds.). Academic, San Diego, California. p. 317-344.
- Chen, H., V. Morrell, E. T. M. Ashworth, M. de la Cruz y M. T. Clegg. 2009. Tracing the geographic origins of major avocado cultivars. *Journal of Heredity* 100:56-65.
- Cuiris-Pérez, H., H. Guillén-Andrade, M. E. Pedraza-Santos, J. López-Medina y L. Vidales-Fernández. 2009. Genetic variability within Mexican race avocado (*Persea americana* Mill.) germoplasm collections determined by ISSRs. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15:169-175.
- Edwards, P. B., W. J. Wanjura y W. V. Brown. 1993. Selective herbivory by Christmas beetles in response to intraspecific variation in *Eucalyptus* terpenoids. *Oecologia* 95:551-557.
- Espinosa-García, F. J. 2001. La diversidad de los metabolitos secundarios y la teoría de la defensa vegetal. *In* Relaciones químicas entre organismos. Aspectos básicos y perspectivas de su aplicación, A.L. Anaya, F.J. Espinosa-García, R. Cruz-Ortega (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México y Plaza y Valdés. México, D.F. p.231-249
- Espinosa-García, F. J., Y. García Rodríguez, F. Chávez Zavala, A. Chávez Zavala y G. Delgado. 2001. Implicaciones de la variación en los fenotipos químicos de las poblaciones de plantas en su susceptibilidad a plagas y patógenos: el caso de *Persea americana* var. Hass. *In* Memorias del 1er. Congreso Mexicano y Latinoamericano del Aguacate, octubre 16-21. Uruapan, Michoacán, México. 46-57 p.
- Fiedler, J., G. Bufler y F. Bangerth. 1998. Genetic relationships of avocado (*Persea americana* Mill.) Using RAPD markers. *Euphytica* 101:249-255.
- Furnier, G. R., M. P. Cummings y M. T. Clegg. 1990. Evolution of the avocados as revealed by DNA restriction fragment variation. *Journal Heredity* 81:183-188.



- Galindo-Tovar, M. E., N. Ogata-Aguilar y A. M. Arzate-Fernández. 2008. Some aspects of avocado (*Persea americana* Mill.) diversity and domestication in Mesoamerica. *Genetic Resources and Crop Evolution* 55:441-450.
- Goralka, R. J. L., M. A. Schumaker y J. H. Langenheim. 1996. Variation in chemical and physical properties during leaf development in California bay tree (*Umbellularia californica*): Predictions regarding palatability for deer. *Biochemical Systematics and Ecology* 24:93-103.
- Gouyon, P. H., P. Fort y G. Caraus. 1983. Selection of seedlings of *Thymus vulgaris* by grazing slugs. *Journal of Ecology* 71:299-206.
- Hartmann, T. y B. Dierich. 1998. Chemical diversity and variation of pyrrolizidine alkaloids of the senecionine type: biological need or coincidence?. *Planta* 206:443-451.
- Keszei, A., Y. Hassan y W. J. Foley. 2010. A biochemical interpretation of terpene chemotypes in *Melaleuca alternifolia*. *Journal of Chemical Ecology* 36:652-661.
- Lahav, E. y U. Lavi. 2002. Genetics and classical breeding. In *The avocado. Botany, production, and uses*, A. Whiley, B. Schaffer y B. Wolstenholme (eds.). CABI, Wallingford. 36-69.
- Langenheim, J. H. 2003. Ecological roles of resins. In *Plant resins: chemistry, evolution, ecology, and ethnobotany*, Timber Press Science. Portland, Oregon. p.196-253
- Langenheim, J. H., C. A. Macedo, M. K. Ross y W. H. Stubblebine. 1986. Leaf development in the tropical leguminous tree *Copaifera* in relation to microlepidopteran herbivory. *Biochemical Systematics and Ecology* 14:51-59.
- Langenheim, J. H., C. E. Foster y R. B. McGinley. 1980. Inhibitory effects of different quantitative compositions of *Hymenaea* leaf resins on a generalist herbivore *Spodoptera exigua*. *Biochemical Systematics and Ecology* 8:385-396.
- Linhart, Y. B. 1991. Disease, parasitism and herbivory: multidimensional challenges in plant evolution. *Trends in Ecology and Evolution* 6:392-396.
- Mhameed, S., D. Sharon, D. Kaufman, E. Lahav, J. Hillel, C. Degani y U. Lavi. 1997. Genetic relationships within avocado (*Persea americana* Mill.) cultivars and between *Persea* species. *Theoretical and Applied Genetics* 94:279-286.
- Mijares Oviedo, P. y L. López-López. 1998. Variedades de aguacate y su producción en México. Memoria. Fundación Salvador Sánchez Colin-CICTAMEX, Coatepec Harinas, Estado de México. p. 22-32.
- Nava-Cruz, Y., F. J. Espinosa-García y G. R. Furnier-Whitelaw. 2006. Levels and patterns of chemical variation in leaf resins of the genus *Abies* from northern México. *Agrociencia* 40:229-238.
- Ogunbinu, A. O., I. A. Ogunwande, G. Flamini y P. L. Cioni. 2007. Volatile compounds of *Persea americana* Mill. from Nigeria. *Journal of Essential Oil Searing Plants* 10:133-138.
- Otto, A. y V. Wilde. 2001. Sesqui-, di-, and triterpenoids as chemosystematic markers in extant conifers-a review. *Botanical Review* 67:171-238.
- Padalia, R. C., S. C. Joshi, D. S. Bisht y C. S. Mathela. 2009. Essential oil composition of *Persea duthiei*. *Chemistry of Natural Compounds* 45:745-747.
- Penrose, L. W. 1953. Distance, size and shape. *Annals of Eugenics* 18:378-443.
- Popenoe, W. 1941. The avocado a horticultural problem. *Tropical Agriculture* 183-11.
- Popenoe, W. 1952. Central American fruit culture. *Ceiba* 1:222-227.
- Rehfeldt, G. E. 1999. Systematics and genetics structure of Washoe pine: applications in conservation genetics. *Silvae Genetica* 48:167-173.
- Rice, R. L., D. E. Lincoln y J. H. Langenheim. 1978. Palatability of monoterpenoid compositional types of *Satureja douglassi* to a generalist molluscan herbivore, *Ariolimax dolichophallus*. *Biochemical Systematics and Ecology* 6:45-53.
- Rincón-Hernández, C. A. 2005. Relación entre la diversidad química de las hojas del aguacatero criollo (*Persea americana* var. *drymifolia*) y la incidencia del agallero de las hojas (*Trioza anceps* Tuthill). Tesis, Facultad de Químico Farmacobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia. Michoacán. 76 p.
- Rincón-Hernández, C. A. y F. J. Espinosa-García. 2008. Relationship between the phytochemical diversity in creole avocado (*Persea americana* var. *drymifolia*) leaves and the incidence of foliar gall psyllid (*Trioza anceps*). *Allelopathy Journal* 21:175-182.
- Sabor, J. y K. Skrzyszewska. 2002. The role of genetic terpene markers in selection and taxonomy of forest tree species. Part I. Chemistry and synthesis. Scope of application. (Polish) *Sylvan* 146:41-48. In *Cambridge Abstracts in Biology AN*: 20033004253.
- Sagrero-Nieves, L. J. y P. Bartley. 1995. Volatile Components of avocado leaves (*Persea americana* Mill.) from the Mexican race. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 67:49-51.
- Sánchez-Pérez, J. L. 1999. Recursos genéticos de aguacate (*Persea americana* Mill.) y especies afines en México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5:7-18.
- Savage, T. J., M. W. Hatch y R. Croteau. 1994. Monoterpene syntheses of *Pinus contorta* and related conifers. *The Journal of Botanical Chemistry* 296:4012-4020.
- Scora R. W. y P. E. Scora. 1998. Leaf oils of two new avocado varieties endemic to Costa Rica. *Journal of Essential Oil Research* 10:705-707.
- Scora, R. W. y B. O. Bergh. 1992. Origin of and Taxonomic relationships within the genus *Persea*. In *Proceedings of the Second World Avocado Congress, April 21-26, 1991, Orange California, University of California/California Avocado Society, Riverside*. p.505-514
- Scora, R. W. y P. E. Scora. 2000. Essential oils of *Persea* subgenus *Persea* (Lauraceae). *Journal of Essential Oil*

- Research 12:709-713.
- Smith, R. H. 1983. Monoterpenes of logpeople pine xylem resin: A regional study in western United States. *Forest Science* 29:333-340.
- Sturgeon, K. B. 1979. Monoterpene variation in ponderosa pine xylem resin related to western pine beetle predation. *Evolution* 33:803-814.
- Torres-Gurrola, G., S. Montes-Hernández y F. J. Espinosa-García. 2009. Patrones de distribución y variación geográfica de los fenotipos químicos foliares de *Persea americana* var. *drymifolia*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32:19-30.
- van der Werff, H. 2002. A synopsis of *Persea* (Lauraceae) in Central America. *Novon* 12:575-586.
- Wu, H., C. Choul, T. L. Chang y I. Z. Chen. 2007. Genetic relationship estimation of Taiwan avocado cultivars by volatile constituents of leaves. *Proceedings VI World Avocado Congress, Viña del Mar, Chile, 12-16 de noviembre 2007*. p.1-14.