



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE AGROBIOLOGÍA
"PRESIDENTE JUÁREZ"

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA
EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

VARIACIÓN Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE FENOTIPOS QUÍMICOS FOLIARES DE *Persea americana* Mill var., *drymifolia*

TESIS

QUE PRESENTA

ANA KAREN ESCALERA ORDAZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

DIRECTOR DE TESIS: Doctor en Ciencias en Genética Vegetal
Héctor Guillén Andrade

CO-DIRECTORA: Doctora en ciencias en Ecología Química
Guadalupe Torres Gurrola

URUAPAN, MICHOACÁN, MARZO DE 2015



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas

DR. HÉCTOR GUILLÉN ANDRADE
COORDINADOR GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
P R E S E N T E

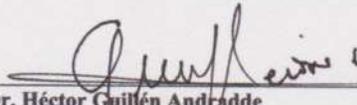
Por este conducto nos permitimos comunicarle que después de haber revisado el manuscrito final de la Tesis Titulada: "Variación y distribución geográfica de fenotipos químicos foliares de *Persea americana* Mill var., *drymifolia*" presentado por la ING. ANA KAREN ESCALERA ORDAZ, consideramos que reúne los requisitos suficientes para ser publicado y defendido en Examen de Grado de Maestra en Ciencias.

Sin otro particular por el momento, reiteramos a usted un cordial saludo.

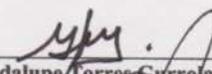
A T E N T A M E N T E

Morelia, Michoacán, a 24 de febrero de 2015

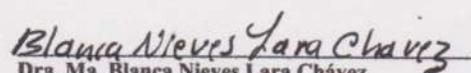
MIEMBROS DE LA COMISIÓN REVISORA



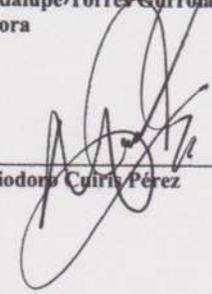
Dr. Héctor Guillén Andrade
Director



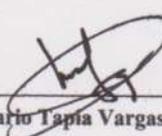
Dra. Guadalupe Torres Gurrola
Co directora



Dra. Ma. Blanca Nieves Lara Chávez



M.C. Heliodora Cuñis Pérez



Dr. Luis Mario Tapia Vargas

CONTENIDO

	PÁGINA
ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Importancia del cultivo del aguacatero.....	4
2.2. Recursos genéticos del aguacatero.....	5
2.3. Estudios de variabilidad de germoplasma criollo del aguacatero.....	6
2.4. Metabolismo en plantas.....	7
2.5. Métodos de cuantificación y clasificación de los metabolitos secundarios en plantas.....	8
2.6. Función de los metabolitos secundarios en las plantas.....	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. Área de estudio.....	13
3.2. Material genético.....	14
3.3. Procesamiento del tejido foliar.....	15
3.4. Identificación y cuantificación de metabolitos secundarios.....	15
3.5. Calculo de índices Kovats.....	16
3.6. Análisis de la información.....	17
IV. RESULTADOS	19
V. DISCUSIÓN	29
VI. CONCLUSIONES	33
VII. LITERATURA CITADA	34
VIII. APÉNDICE	42
IX. GLOSARIO DE TÉRMINOS	46

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Relación de 54 colectas de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i> , información sobre su origen, localización geográfica y altura sobre el nivel del mar.....	14
2	Estructura química de terpenos identificados en 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i> procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología.....	21
3	Estructura química de éteres, compuestos aromáticos, compuestos fenólicos, acetonas, ésteres, alcanos, aldehídos y ácidos identificados en 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i> procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología.....	21
4	Tiempo de retención, índice Kovats, concentración (%) total y frecuencia de los metabolitos secundarios identificados en las colectas de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i> procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología	22
5	Estadísticos simples, cuadrados medios del error y probabilidad obtenidos del análisis de varianza practicado para 47 metabolitos secundarios identificados en 216 individuos de 54 colectas de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i> procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología	24
6	Estadísticos simples de diez metabolitos secundarios seleccionados mediante el análisis de varianza, correlación de Pearson y análisis discriminante stepwise.....	25
7	Varianza explicada en el análisis de componentes principales para 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i>	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Ubicación geográfica de los municipios de origen de las colectas de <i>Persea americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i> en la franja aguacatera del estado de Michoacán, México.....	13
2	Procedimiento utilizado para la obtención de metabolitos secundarios de 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i> . Colecta de tejido foliar (A), congelación con nitrógeno líquido y pulverización (B), obtención de extracto (C), inyección en cromatógrafo de gases (D), identificación y cuantificación de volátiles (E, F).....	16
3	Cromatograma representativo de los tiempos de retención del tetradecano (estándar interno) y 37 metabolitos secundarios identificados en colectas de <i>Persea americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i>	19
4	Histogramas de frecuencias para contenido de 47 metabolitos secundarios (A) y para contenido de estragol (B) en las 54 colectas analizadas de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i> procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología	23
5	Distribución geográfica de 54 colectas de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i> procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología, en función de los primeros dos componentes principales que explican el 32% de la varianza acumulada.....	26
6	Dendrograma de disimilitud de 54 colectas de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i> procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología, con base en la presencia y concentración de diez metabolitos secundarios en 216 individuos.	27
7	Prueba de Mantel; Correlación lineal entre distribución de metabolitos secundarios y distribución geográfica de 54 colectas de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i> procedentes de la franja aguacatera del estado de Michoacán, México.....	28

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro		Página
1A	Análisis de varianza en una vía para decano evaluado en una población de 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i>	42
2A	Análisis de varianza en una vía para fenil etil alcohol evaluado en una población de 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i>	42
3A	Análisis de varianza en una vía para undecano 4-metil evaluado en una población de 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i>	42
4A	Análisis de varianza en una vía para tridecano evaluado en una población de 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i>	43
5A	Análisis de varianza en una vía para β -cubebeno evaluado en una población de 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i>	43
6A	Análisis de varianza en una vía para acetato de eugenol evaluado en una población de 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i> .	43
7A	Análisis de varianza en una vía para óxido de cariofileno evaluado en una población de 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i> .	44
8A	Análisis de varianza en una vía para <i>cis,cis</i> -7,10-hexadecadienal evaluado en una población de 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i>	44
9A	Análisis de varianza en una vía para <i>cis,cis,cis</i> -7,10,13-Hexadecatrienal evaluado en una población de 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i>	44
10A	Análisis de varianza en una vía para 8,11,14-ácido eicosatrienoico (<i>z,z,z</i>)-evaluado en una población de 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i>	45
11A	Análisis de varianza en una vía para 4,8,13-duvatriene 1,3-diol evaluado en una población de 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i>	45
12A	Análisis de varianza en una vía para 2-metilenecholestan-3-ol evaluado en una población de 216 individuos de <i>P. americana</i> Mill var., <i>drymifolia</i>	45

RESUMEN

En la presente investigación, se planteó la caracterización química de genotipos de *Persea americana* Mill var., *drymifolia* colectados en la franja aguacatera de Michoacán, México como parte integral de la estrategia para evaluar su potencial como portainjertos con atributos de resistencia a plagas y enfermedades ya que se conoce de compuestos químicos que actúan como defensas en las plantas. Los resultados obtenidos se relacionan con el perfil químico de 216 individuos, identificándose 47 metabolitos secundarios de los cuales 18 no habían sido reportados en tejido foliar de especies de *Persea*; el metabolito secundario predominante fue el estragol con una concentración de 26.53 % respecto al total de los metabolitos secundarios identificados. En el análisis de varianza practicado en una vía para contenido de metabolitos secundarios, se indicaron diferencias estadísticas significativas para 12 metabolitos secundarios, en contraste, en el análisis multivariado no se encontró relación entre la concentración de los metabolitos secundarios y el origen de las colectas.

Palabras clave: aguacate criollo, distribución geográfica, volátiles foliares, defensa de las plantas.

ABSTRACT

In this research, the chemistry characterization of *Persea americana* Mill var. *drymifolia* genotypes collected in the avocado-producing area of Michoacan, Mexico was raised as an integral part of the strategy to assess their potential as rootstocks with resistance attributes to pests and diseases as it is known about chemical compounds that act as defenses in plants. The results obtained are related to the chemical profile of 216 individuals, identifying 47 secondary metabolites, of which 18 had not been reported in foliar tissue of *Persea* species; the predominant secondary metabolite was estragole with a concentration of 26.53% compared to the total of identified secondary metabolites. In the analysis of variance practiced on a track for content of secondary metabolites, significant statistical differences for 12 secondary metabolites were indicated, in contrast to the multivariate analysis were no relationship was found between the concentration of secondary metabolites and the origin of the collections.

Keywords: creole avocado, geographical distribution, volatiles foliares, plant defense.

I. INTRODUCCIÓN

México se ubica como el principal productor de aguacate a nivel mundial; lugar que obtiene por las 168,114 ha plantadas y una producción total de 1, 467,837 t, el estado de Michoacán se coloca como el principal productor de este frutal con una participación del 81.32 % de la producción nacional y una derrama económica de alrededor de 15.509 millardos (SIAP, 2014). En Michoacán el cultivo del aguacate se encuentra establecido en una región conocida como la franja aguacatera del estado de Michoacán (Gutiérrez-Contreras *et al.*, 2010), ésta se encuentra localizada en la provincia fisiográfica del sistema volcánico transversal entre los paralelos 18° 45' y 20° 6' latitud norte y los meridianos 101° 47' y 103° 13' de longitud oeste (Guillén-Andrade *et al.*, 2007). En esta región existe una amplia diversidad genética de *P. americana* Mill var., *drymifolia* que se ha utilizado como portainjertos de la variedad Hass (Cuiris-Pérez *et al.*, 2009) por ser fuente de genes de resistencia a factores físicos, plagas y patógenos (Rincón-Hernández *et al.*, 2011); sin embargo, la enorme riqueza fitogenética está amenazada por la destrucción de estos ecosistemas y por la sustitución de cultivares tradicionales por cultivares mejorados (Lorea-Hernández, 2002). En los últimos años, se han sumado esfuerzos para la conservación y caracterización de recursos genéticos del aguacatero; en algunas regiones de México se han hecho trabajos para conocer la variabilidad fenotípica del germoplasma de aguacate (Gutiérrez-Diez *et al.*, 2009; López-Guzmán *et al.*, 2012). En el estado de Michoacán se ha trabajado en la caracterización del germoplasma de aguacate criollo; estos trabajos incluyen información genotípica (Cuiris-Pérez *et al.*, 2009; Gutiérrez-Diez *et al.*, 2009) y fenotípica (López-Guzmán *et al.*, 2012; Guillén-Andrade *et al.*, 2013). Sin embargo, es importante estudiar la química de las plantas, ya que éstas han desarrollado diversas estrategias de defensa a condiciones de estrés biótico y abiótico; por ejemplo, la planta sintetiza

metabolitos secundarios (MS) que provocan que las plantas sean desagradables o tóxicas para algunos herbívoros (Anaya-Lang y Espinosa-Garcia, 2006), además de su importancia ecológica al participar en los procesos de adaptación de las plantas a su ambiente, atracción de insectos polinizadores y dispersores de semillas (Sepúlveda-Jiménez *et al.*, 2003); asimismo, hay MS que tienen actividad biológica bactericida y fungicida (Hanamanthagouda *et al.*, 2010; Khokra *et al.*, 2008; Moreno *et al.*, 2009), otros se han reportado con más de dos funciones: por ejemplo, el estragol, que se ha documentado con actividad biológica antifúngica (Fontenelle *et al.*, 2008), larvicida (Senthilkumar *et al.*, 2008), insecticida (López *et al.*, 2008) y genotóxica (Zani *et al.*, 1991); este MS se ha identificado como principal componente en tejido foliar de especies de *Persea* (Torres-Gurrola *et al.*, 2009; Torres-Gurrola *et al.*, 2011; Rincón-Hernández *et al.*, 2011). La variación química del aguacatero, ha sido estudiada en especies de *Persea*, donde se han identificado alrededor de 72 MS (Quing-Yi *et al.*, 2009; Torres-Gurrola *et al.*, 2009; Torres-Gurrola *et al.*, 2011; Rincón-Hernández *et al.*, 2011). Dada la importancia de la caracterización de los recursos genéticos del aguacate, en el presente trabajo se planteó el objetivo de conocer la variabilidad química foliar de los genotipos establecidos en el Banco de Germoplasma de *Persea americana* Mill var., *drymifolia* de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, como parte integral de la estrategia para evaluar su potencial como portainjertos; que presenten valor agregado como lo son características de resistencia a plagas y enfermedades y, adicionalmente, determinar la relación de metabolitos secundarios presentes en el germoplasma analizado con su origen geográfico.

Hipótesis:

- Los genotipos criollos de aguacate varían en el contenido de metabolitos secundarios presentes en hojas.
- El origen geográfico de los genotipos criollos tiene relación directa con su composición química.

Objetivo General:

- Generar información sobre la composición de metabolitos secundarios en hojas de *Persea americana* Mill var., *drymifolia* y su relación con la distribución geográfica.

Objetivos Específicos:

- Determinar el tipo y concentración de metabolitos secundarios en hojas de *Persea americana* Mill var., *drymifolia* de la franja aguacatera de Michoacán.
- Determinar si la composición de metabolitos secundarios presente en el aguacate criollo se relaciona con su distribución geográfica.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del cultivo del aguacatero

El proceso de la cadena productiva del cultivo del aguacate es una de las actividades económicamente más importantes de México, genera 47 mil empleos directos y 70 mil empleos estacionales, equivalente a 10.5 millones de jornales anuales, además de 187 mil empleos indirectos permanentes (Téliz y Marroquín, 2007). México se ubica como principal productor y consumidor de la fruta a partir de la década de 1990, además de ser el máximo exportador, como resultado de la apertura del mercado de los Estados Unidos de Norteamérica (Macías-Macías, 2011). En el estado de Michoacán se cultivan alrededor de 122 251.89 ha de secano y de riego con una producción de 1 193 751.21 t; por lo anterior se considera al estado de Michoacán como la principal región productora de aguacate; cultivo que se considera de los más rentables y generadores de empleos en esta región del país, manejándose un precio medio regional (PMR) aproximado a \$13 mil por tonelada y un valor de producción de alrededor de 15.500 miles de peso (SIAP, 2014). Adicionalmente, el aguacate es un alimento que garantiza la ingesta total de sus nutrientes al ser consumido en fresco (Ortega-Tovar, 2003), ya que posee valiosas propiedades alimenticias por su alto contenido de aceite (12 a 30 %), proteína (3 a 4 %), hidratos de carbono, vitaminas y minerales (López-Gómez *et al.*, 2007). Dentro de los principales factores que limitan la productividad del aguacatero está la ubicación de las parcelas en condiciones desfavorables de clima y suelo así como la falta de portainjertos adecuados, además de la mala calidad de la planta, para el establecimiento de los huertos comerciales (Ayala-Arreola *et al.*, 2010), siendo necesario el planteamiento de una estrategia, para alcanzar el máximo potencial productivo del material vegetal, que sea de buena calidad genética, química y fitosanitaria que garantice altos rendimientos por unidad de superficie.

2.2. Recursos genéticos del aguacatero

El aguacate es una especie alógama, con alta variabilidad genética (Cabezas *et al.*, 2003), existen diversos grupos morfológicos y razas adaptadas a distintos ambientes como producto de la evolución (López-López *et al.*, 1999). Los recursos genéticos del aguacate son una fuente única de genes que pueden utilizarse para el mejoramiento genético de cultivares, portainjertos e interinjertos (Ayala-Arreola *et al.*, 2010), *P. americana* var., *drymifolia* se emplea como portainjertos en huertos de aguacate *hass* por ser fuente de genes de resistencia a algunas plagas y patógenos; sin embargo, esta variabilidad genética se pierde debido a que el aguacate criollo se sustituye actualmente por variedades comerciales y por la destrucción de ecosistemas (Espinosa-García *et al.*, 2001). En el aguacatero, se espera que un buen portainjerto produzca un árbol longevo, de alto rendimiento y buena calidad de frutos; que confiera principalmente una buena adaptación del árbol y que resulte finalmente en una unidad productiva (Campos-Rojas *et al.*, 2011). En las plantaciones comerciales de México, se utilizan principalmente portainjertos de la raza mexicana, sin control alguno sobre la fuente de semilla a utilizar (López-Jiménez *et al.*, 2010), esto último tiene consecuencias negativas en la producción de patrones con características como la estandarización del tamaño (Pimentel-Bribiesca, 2009), alto porcentaje de germinación, uniformidad, sanidad y vigor que deben poseer las semillas (López-Jiménez *et al.*, 2010). De esta manera, la utilización de la diversidad genética existente ya sea como variedades y/o portainjertos, es invaluable para el mejoramiento de la especie (Ben-Ya'acob *et al.*, 1992).

2.3. Estudios de variabilidad de germoplasma criollo del aguacatero

La disponibilidad de recursos genéticos de *Persea* spp., podría solucionar varios problemas y restricciones en la producción de aguacate, tales como sensibilidad a factores climáticos y edáficos, baja productividad, enfermedades, excesivo vigor en las plantas, baja precocidad y madurez (Bowman y Scora, 1992). Sin embargo, estos recursos se pierden debido a factores como el cambio en uso de suelo, utilización de la madera, enfermedades del suelo, sequías e incendios; factores que han traído una gran devastación en México (Ben-Ya'acob *et al.*, 1992).

La conservación *in situ* de materiales criollos de aguacate es de gran importancia en los programas de mejoramiento genético debido a que buscan, además de mejorar la productividad y adaptación, incorporar alta calidad nutrimental y resistencia a patógenos (Campos-Rojas *et al.*, 2011); no obstante, esto implica una adecuada protección y gestión de sus ecosistemas y, aunque existe un gran número de figuras de protección de espacios naturales, no resulta suficiente para asegurar la supervivencia de las especies a conservar; una estrategia que complementa la conservación de los recursos fitogenéticos es la conservación *ex situ* (Iriondo-Alegría, 2001), con el establecimiento de bancos de germoplasma que estimulan el avance del conocimiento botánico y agronómico en el desarrollo de nuevos cultivares, además de que se guarda gran fuente de genes de resistencia contra plagas y enfermedades (Espinosa-García *et al.*, 2001). En México, la variabilidad genética existe principalmente en traspatios caseros, lo que ofrece una oportunidad para seleccionar genotipos que tengan mejor comportamiento en condiciones de estrés biótico y abiótico, que los materiales vegetales utilizados actualmente como pie de injerto (Medina-Torres *et al.*, 2010) y al ser México parte del centro de origen y dispersión

del aguacatero, se puede decir que se cuenta con gran diversidad de genotipos criollos, la cual se ha extendido a través del tiempo; de esta manera, la caracterización y evaluación de dichos recursos fitogenéticos permiten determinar su utilidad potencial (Campos-Rojas *et al.*, 2011). En este sentido, en algunas regiones de México se han establecido trabajos para conocer la variabilidad fenotípica del germoplasma de aguacate como es el caso de los hechos en el estado de Nuevo León (Gutiérrez-Diez *et al.*, 2009) y Nayarit (López-Guzmán *et al.*, 2012). En el estado de Michoacán se ha trabajado en la caracterización del germoplasma de aguacate criollo; estos trabajos incluyen información genotípica (Cuiris-Pérez *et al.*, 2009) y fenotípica (Guillén-Andrade *et al.*, 2013).

2.4. Metabolismo en plantas

El conjunto de reacciones químicas que tienen lugar en un organismo constituye el metabolismo. La mayor parte de carbono, nitrógeno y energía termina en moléculas comunes necesarias para el funcionamiento de las células. Los aminoácidos, nucleótidos, azúcares y lípidos, presentes en todas las plantas desempeñan las mismas funciones y son denominados metabolitos primarios. A diferencia de otros organismos, las plantas destinan una cantidad significativa del carbono asimilado y energía a la síntesis de una amplia variedad de moléculas orgánicas llamadas metabolitos secundarios (MS); éstas parecen no tener una función directa en procesos fotosintéticos, respiratorios, asimilación de nutrientes, transporte de solutos o síntesis de proteínas, carbohidratos o lípidos (Ávalos-García y Pérez-Urria, 2009). El término secundario implicó que estas sustancias tenían una menor importancia y muchas veces se les atribuyó la propiedad de productos de desecho del metabolismo primario. Sin embargo, esta idea ha cambiado ya que los MS están estrechamente relacionados con una o varias funciones específicas en la planta (García,

2004); por ejemplo, tienen gran importancia ecológica al participar en los procesos de adaptación de las plantas a su ambiente, establecimiento de simbiosis con otros organismos, atracción de insectos polinizadores, dispersores de semillas y frutos (Sepúlveda-Jiménez *et al.*, 2003). No obstante, algunos metabolitos presentan propiedades farmacológicas y otros provocan que las plantas sean desagradables o tóxicas para algunos herbívoros (Anaya-Lang y Espinosa-García, 2006). Adicionalmente, la síntesis de MS puede ser inducida por consumo de herbívoros, ataque de microorganismos, exposición a la luz solar, competencia de espacio de suelo, luz y nutrientes entre las diferentes especies; el contenido de MS depende de la etapa de desarrollo de la planta y sus niveles constitutivos solo se incrementan como parte de la respuesta al estrés biótico o abiótico (Sepúlveda-Jiménez *et al.*, 2003). En la actualidad el metabolismo secundario se puede definir como la biosíntesis, transformación y degradación de los compuestos endógenos mediante proteínas de especialización, las cuales se han formado como resultado de los procesos de diferenciación (García, 2004).

2.5. Métodos de cuantificación y clasificación de los metabolitos secundarios en plantas

Para cuantificar el contenido de MS existen numerosos métodos, no obstante cada técnica analítica presenta limitaciones intrínsecas, por lo que no son aplicables de manera general en todos los casos (García, 2004), estos métodos se pueden clasificar en: colorimétricos, gravimétricos, de inhibición enzimática, por precipitación, toxicológicos y cromatográficos (Schochfield *et al.*, 2001; Harborne, 1998; Krueger *et al.*, 2000; Singleton *et al.*, 1999). Las estructuras químicas que se conocen se clasifican en dos grupos principales: nitrogenados y no nitrogenados, los MS que contienen nitrógeno incluyen a los alcaloides, aminoácidos no

proteicos, aminas, glucósidos cianogénicos y glucosinolatos. Los no nitrogenados se dividen en terpenoides, poliacetilenos, policetidos y fenilpropanoides (Sepúlveda-Jiménez *et al.*, 2003). De manera similar se pueden agrupar en cuatro clases principales: La primer clase comprende compuestos fenólicos, polifenoles o fenilpropanoides como cumarinas, flavonoides, lignina y taninos, estas sustancias derivan del fenol, un anillo aromático con un grupo hidroxilo. La segunda clase abarca los glucósidos, su nombre hace referencia al enlace glucosídico que se forma cuando una molécula de azúcar se condensa con otra que contiene un grupo hidroxilo; existen tres grupos de glicósidos de particular interés: saponinas, glucósidos cardiacos y glucósidos cianogénicos. En la tercera clase encontramos los alcaloides que tienen en común tres características: son solubles en agua, contienen al menos un átomo de nitrógeno en la molécula y exhiben actividad biológica; se sintetizan normalmente a partir de lisina, tirosina y triptófano, aunque algunos como la nicotina y compuestos relacionados derivan de la ornitina. La cuarta clase incluye a los terpenos, entre los que se encuentran hormonas, pigmentos o aceites esenciales, estos constituyen el grupo más numeroso de MS (Ávalos-García y Pérez-Urria, 2009). En las plantas, los terpenos se localizan sobre todo en las hojas, flores y frutos, en menor medida tallos, tronco y raíces (Ormeño y Fernández, 2012), la ruta biosintética de estos compuestos da lugar tanto a metabolitos primarios como a metabolitos secundarios de gran importancia para el crecimiento y supervivencia de las plantas (Ávalos-García y Pérez-Urria, 2009).

Las hojas del aguacatero criollo son ricas en terpenoides y fenilpropanoides los cuales protegen a las plantas contra herbívoros y patógenos; estos compuestos también son indicadores de variación genética o marcadores asociados a la resistencia a plagas y patógenos (Torres-Gurrola *et al.*, 2009), por lo que el estudio de estos compuestos en individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia* permitirá describir la variación química y

genética de esta variedad de aguacate. Los terpenos volátiles son hidrocarburos constituidos por unidades básicas de cinco átomos de carbono (Ormeño y Fernández, 2012) llamados isopreno (C₅) y se clasifican de acuerdo al número de unidades que los forman (Sepúlveda-Jiménez *et al.*, 2003), por ejemplo: hemiterpeno, monoterpeno, sesquiterpeno, diterpeno, sesterpenos, triterpenos y tetraterpenos para 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 unidades de isopreno respectivamente, se nombran politerpenos a los compuestos que presenten más de 8 unidades de isopreno (Anaya-Lang, 2003).

2.6. Función de los metabolitos secundarios en plantas

El metabolismo secundario constituye una de las adaptaciones más sorprendentes en el reino vegetal, para su diferenciación las especies de plantas superiores han necesitado miles de años de evolución continua y perfeccionamiento a través de la interacción con el medio ambiente circundante y las relaciones interespecíficas (García, 2004); sin embargo, la enorme diversidad fitoquímica y el largo tiempo de evolución de este metabolismo han resultado en interacciones de complejidad creciente. Por ejemplo, ciertos compuestos con estructuras muy similares pueden ejercer actividades muy disímiles, desde insecticidas hasta repelentes o incluso atrayentes (Vivanco *et al.*, 2005). A lo largo de la evolución, la especialización del metabolismo secundario ha constituido una de las adaptaciones más sorprendentes en las plantas superiores, con el objetivo de lograr mantener el equilibrio interespecífico en la naturaleza (García, 2004). La presión de selección ejercida por los herbívoros determinó la aparición de muchos mecanismos de defensa en las plantas. A su vez, los herbívoros coevolucionaron de manera que adquirieron caracteres adaptativos, contra defensas que les permitieron seguir consumiendo las plantas (Anaya-Lang y Espinosa-García, 2006). En esta carrera evolutiva los MS tienen un papel importante;

algunos parecen ser comunes a muchas especies, otros tienden a ser específicos de cada especie (Vivanco *et al.*, 2005).

Las plantas producen decenas de miles de MS, algunos se consideran productos naturales o drogas y representan alrededor de 25 % de los productos con uso medicinal. Entre los ejemplos sobresalientes de plantas útiles por los metabolitos que producen se encuentra *Raulvolfia serpentina*, esta planta es usada como antídoto contra la mordedura de serpientes venenosas como la cobra, también se utiliza para la ansiedad, insomnio y demencia, es un sedante natural que causa somnolencia (Anaya-Lang y Espinosa-García, 2006), la aspirina consumida como analgésico, para prevenir trombos e infartos, es un derivado simple de ácido salicílico que se encuentra naturalmente en las especies de sauce (Theis y Lerdau, 2003).

Las defensas de las plantas tienen propiedades muy particulares que pueden dividirse en dos tipos básicos: las constitutivas y las inducidas, la primera se refiere al desarrollo de numerosas estructuras físicas como tricomas, fibras, espinas y corteza gruesa que pueden contener compuestos químicos como resinas, fenoles, lignina, terpenoides, alcaloides y otros MS que funcionan como defensas en los tejidos de las plantas. Las inducidas son defensas activadas en un organismo después de un encuentro con un herbívoro, patógeno o parásito (Anaya-Lang y Espinosa-García, 2006), algunos inhiben la germinación de esporas (Vivanco *et al.*, 2005), otros tienen funciones ecológicas específicas como atrayentes o repelentes de animales; muchos son pigmentos que proporcionan color a flores y frutos, juegan un papel esencial en la reproducción atrayendo a insectos polinizadores, o atrayendo a animales que van a utilizar los frutos como fuente de alimento, contribuyendo de esta forma a la dispersión de semillas. Otros compuestos tienen función protectora frente a

depredadores, actúan como repelentes, proporcionan a la planta sabores amargos haciéndolas indigestas o venenosas (Ávalos-García y Pérez-Urria, 2009); algunos alcaloides son neurotóxicos a insectos y vertebrados herbívoros (Sepúlveda-Jiménez *et al.*, 2003) o se utilizan para atraer depredadores y parasitoides que destruyan a los herbívoros agresores; en otras palabras, ciertas especies vegetales reclaman la ayuda de otros artrópodos y son atraídos por alcaloides (Vivanco *et al.*, 2005). Algunos metabolitos se han reportado con actividad bactericida y fungicida como el alcanfor (Hanamanthagouda *et al.*, 2010), *p*-cimeno (Khokra *et al.*, 2008) 1-8 cineol y linalol (Moreno *et al.*, 2009) entre otros.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones de la Unidad de Investigaciones Avanzadas en Agrobiotecnología (UIAA) de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, ubicada en la ciudad de Uruapan Michoacán, México, en las coordenadas 19° 25' 10'' latitud norte y 102° 03' 30'' longitud oeste a 1620 msnm. El material de estudio, establecido en el banco de germoplasma de aguacate proviene de municipios ubicados en la franja aguacatera de Michoacán (Figura 1). El proceso de extracción, identificación y cuantificación de metabolitos secundarios (MS) se llevó a cabo en el Laboratorio de Ecología Química y Agroecología del Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco) de la Universidad Nacional Autónoma de México-Campus Morelia.

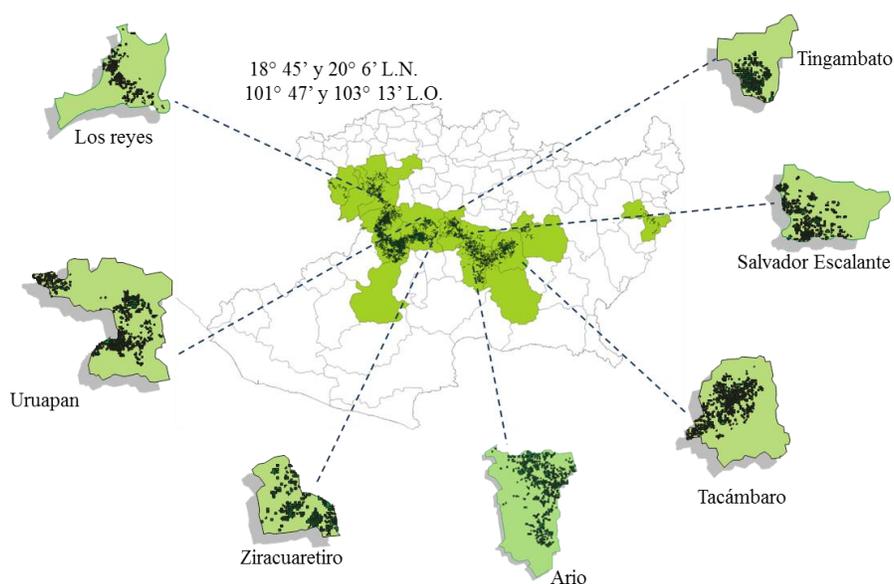


Figura 1. Ubicación geográfica de los municipios de origen de las colectas de *Persea americana* Mill var., *drymifolia* en la franja aguacatera del estado de Michoacán, México.

3.2. Material genético

El material genético incluido en el presente estudio consistió de 54 accesiones de *P. americana* Mill var., *drymifolia*, con cuatro individuos por accesión, sumando un total de 216 individuos; las accesiones provienen de localidades pertenecientes a siete municipios del estado de Michoacán, México (Cuadro 1).

Cuadro 1. Relación de 54 colectas de *P. americana* Mill var., *drymifolia*, información sobre su origen, localización geográfica y altura sobre el nivel del mar.

N. C. ¹	Municipio	L.N. ²	L. O. ³	m.s.n.m ⁴	N. C. ¹	Municipio	L.N. ²	L. O. ³	m.s.n.m ⁴
1	Uruapan	19°25'35"	102°04'27.8"	1537	28	Uruapan	19°25'20.5"	102°04'18.5"	1648
2	Uruapan	19°25'13.8"	102°04'12.8"	1651	29	Uruapan	19°25'20.5"	102°04'18.5"	1646
3	Uruapan	19°24'49.8"	102°02'20.7"	1938	30	Tacámbaro	19°17'19.4"	101°22'05.1"	1657
4	Tingambato	19°29'02.4"	101°52'15.5"	1813	31	Tacámbaro	19°14'38.4"	101°25'32.3"	1609
5	Uruapan	19°23'13.8"	102°04'12.8"	1613	32	Tacámbaro	19°14'38.4"	101°25'32.3"	1661
6	Tingambato	19°30'02.9"	101°51'07.2"	1976	33	Tacámbaro	19°15'43.4"	101°27'57.5"	1655
7	Ario	19°17'09.2"	101°44'19.8"	1870	34	Uruapan	19°25'45.76"	102°04'30.13"	1612
8	Ario	19°17'09.5"	101°44'19.4"	1874	35	Uruapan	19°25'40.5"	102°04'23.6"	1607
9	Ario	19°17'07.4"	101°44'18.1"	1858	36	Uruapan	19°23'48.2"	102°04'10.5"	1544
10	Ario	19°12'33.7"	101°42'15.5"	1913	37	Uruapan	19°23'48.2"	102°04'10.5"	1544
11	Tacámbaro	19°14'28.5"	101°25'49.4"	1656	38	Uruapan	19°22'27"	102°03'16"	1566
12	Tacámbaro	19°14'28.5"	101°25'49.1"	1687	39	Tingambato	19°28'27.9"	101°53'15.6"	1858
13	Tacámbaro	19°14'28.5"	101°25'49.1"	1686	40	Tingambato	19°29'49.5"	101°51'21"	1792
14	Tacámbaro	19°14'28.5"	101°25'49.1"	1686	41	Tingambato	19°28'35.1"	101°53'21.3"	1810
15	Tacámbaro	19°15'35.1"	101°23'50"	1638	42	Tingambato	19°28'34.3"	101°53'18.9"	1832
16	Tacámbaro	19°15'35.1"	101°23'50"	1710	43	Tingambato	19°28'34.3"	101°53'18.9"	1792
17	Tacámbaro	19°15'27.8"	101°23'53.7"	1723	44	Ziracuaretiro	19°28'04.9"	101°56'38.1"	1646
18	Tacámbaro	19°15'29.7"	101°23'46.9"	1723	45	Ziracuaretiro	19°27'54.6"	101°55'07"	1714
19	Tacámbaro	19°15'40.2"	101°23'43.7"	1752	46	Ziracuaretiro	19°26'52.8"	101°53'42.3"	1612
20	Tacámbaro	19°15'33.7"	101°23'57.8"	1719	47	Ziracuaretiro	19°26'52.8"	101°53'42.2"	1612
21	Tacámbaro	19°15'15.3"	101°24'08"	1718	48	Ziracuaretiro	19°26'52.9"	101°53'42.3"	1613
22	Tacámbaro	19°19'.03"	101°28'25"	2233	49	Ario	19°15'52.7"	101°43'.04"	2082
23	Tacámbaro	19°20'37.8"	101°28'52.7"	2293	50	Ario	19°15'37.7"	101°43'35.6"	2039
24	Salvador Escalante	19°27'13.7"	101°43'49.7"	2140	51	Ario	19°15'36"	101°43'35.5"	2038
25	Uruapan	19°23'30"	102°04'26.6"	1521	52	Salvador Escalante	19°25'45.9"	101°43'34.1"	1992
26	Uruapan	19°23'30"	102°04'26.6"	1542	53	Salvador Escalante	19°27'12.43"	101°44'6.21"	1987
27	Uruapan	19°25'20.5"	102°04'18.5"	1650	54	Los Reyes	19°34'6.84"	102°17'47.94"	2269

¹Número de colecta, ²latitud norte, ³longitud oeste, ⁴metros sobre el nivel del mar.

3.3. Procesamiento del tejido foliar

De cada uno de los individuos se utilizaron hojas maduras a las que se extrajeron y cuantificaron los metabolitos secundarios (MS) para determinar el perfil químico; para ello, las hojas colectadas fueron divididas a lo largo de la vena central; la mitad se deshidrató en una estufa a 80 °C por 24 h para determinar su peso seco, la otra mitad se pesó y depositó en un frasco color ámbar de 75 mL de capacidad, se agregó hexano para macerar y se almacenó durante 168 h.; transcurrido el tiempo, se agregó nitrógeno líquido a las muestras para molerlas. Posteriormente, se añadió hexano (hasta que se observó que ya no se obtenía más extracto) y un 1 mL⁻¹ de tetradecano disuelto en hexano como estándar interno, el extracto se filtró, se secó con sulfato de sodio anhidro (Na₂ SO₄) y se adicionó pirogalol (Sigma-Aldrich®) como antioxidante. El extracto se concentró con una corriente suave de N₂ a 1 mL y se almacenó a -20 °C hasta su análisis. Las muestras fueron inyectadas (1 µL) en un cromatógrafo de gases (Agilent HP6890®) provisto con un detector de masas, esto fue hecho de acuerdo con el procedimiento descrito por Torres-Gurrola *et al.*, (2009) (Figura 2A, 2B, 2C y 2D).

3.4. Identificación y cuantificación de metabolitos secundarios

Los compuestos químicos fueron identificados con base en la información contenida en la biblioteca de espectro de masas NIST 05. Para confirmar la identidad de los MS determinados, se usaron tiempos de retención y espectros de masas de compuestos puros (Sigma-Aldrich®): linalol, α-cubebeno, α-pineno, β-pineno, β-mirceno, anetol, camfeno, nerolidol, β-cariofileno, limoneno, α-humuleno, y γ-terpineol (Rincón-Hernández y Espinosa-García, 2008). La pureza de cada pico fue verificada con el programa MSD ChemStation (Agilent Technologies®) y se identificaron como confiables sólo los

compuestos químicos cuyo espectro registró como mínimo 90 % de concordancia con el espectro de la biblioteca NIST 05. Para la cuantificación de los compuestos químicos se hizo una comparación entre la altura del pico del MS y el estándar interno (tetradecano) (Figura 2E y 2F).

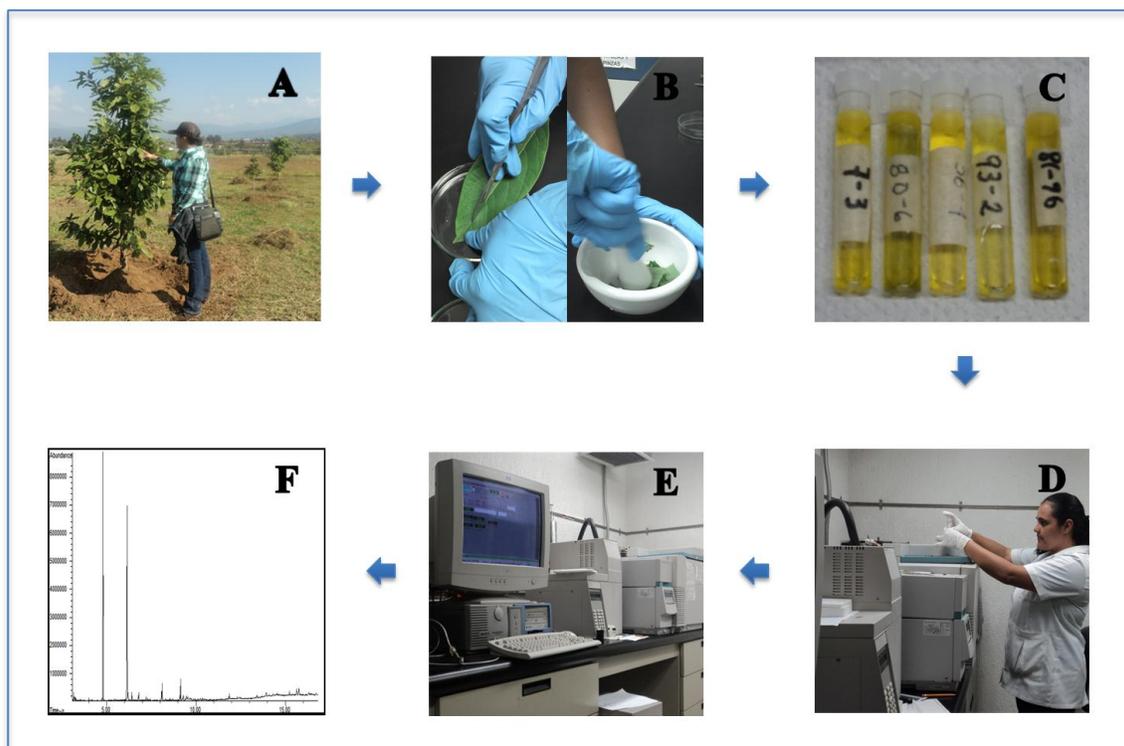


Figura 2. Procedimiento utilizado para la obtención de metabolitos secundarios de 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia*. Colecta de tejido foliar (A), congelación con nitrógeno líquido y pulverización (B), obtención de extracto (C), inyección en cromatógrafo de gases (D), identificación y cuantificación de volátiles (E, F).

3.5. Cálculo de índices Kovats

Se emplearon dos series de alcanos puros (Sigma-Aldrich[®]) C8-C20 y C21-C40, se inyectó 1 μ L de la solución estándar en las condiciones indicadas. El cálculo se hizo mediante la siguiente fórmula:

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

Dónde: TR_{compuesto}= tiempo de retención del compuesto en estudio; TR_n= tiempo de retención del hidrocarburo eluído antes del compuesto en estudio; TR_N= tiempo de retención del compuesto eluído después del compuesto en estudio; n= número de carbonos del compuesto eluído antes del compuesto en estudio; z= diferencia del número de átomos de carbono del hidrocarburo eluído después del compuesto desconocido, menos el hidrocarburo eluído antes del compuesto desconocido.

3.6. Análisis de la información

Se construyeron dos matrices de datos: una de concentración de MS (mg g⁻¹ de hoja seca) y otra de proporciones; esta última expresa la concentración de cada MS en relación con la concentración total de todos los compuestos identificados. La composición de la muestra se comparó con cantidades relativas de los compuestos. La información de la concentración de cada metabolito secundario determinada en los 216 individuos se sometió al análisis de varianza en una vía, este análisis se llevó a cabo sobre la base de un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones, se consideró a cada accesión como un tratamiento. Cada observación estuvo representada en el modelo estadístico correspondiente al diseño experimental completamente al azar, mediante la siguiente expresión: $Y_{ij} = M + C_i + e_{ij}$

Dónde:

Y_{ij} = concentración del metabolito secundario en la colecta i y repetición j

M= media general del experimento

C_i = efecto de la colecta i

E_{ij} = error experimental en la colecta i y repetición j

$i = 1, 2, 3, \dots, 54$ y $j = 1, 2, 3, 4$.

Este análisis se hizo mediante el procedimiento PROC ANOVA del paquete estadístico SAS® versión 9.4 (SAS Institute Inc., 2012), con base en el análisis de varianza se seleccionaron aquellos MS para los cuales hubo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), sobre el listado de esos compuestos seleccionados, se realizó un análisis discriminante de stepwise (Romano y Wolf, 2005) para depurar y mantener únicamente a los compuestos que aportaban mayor información a la variación total; en esta etapa, sólo se eliminó el decano; variable que aportó menor información. Adicionalmente, se practicó un análisis de correlación de Pearson y Filon (1898) para eliminar aquellas variables altamente correlacionadas y evitar problemas de colinealidad en las matrices. Posteriormente, se obtuvo una matriz de promedios para llevar a cabo un análisis de Componentes Principales (ACP), se utilizó la matriz de correlaciones; se calculó la matriz de distancias euclidianas (DE) entre accesiones y con ella se hizo el Análisis de Conglomerados (AC). Finalmente, se construyó el dendrograma correspondiente con el método de agrupamiento de Ward. Todos los análisis fueron realizados con el paquete estadístico SAS® versión 9.4 (SAS Institute Inc., 2012). Las coordenadas geográficas del sitio donde se colectó el material original se convirtieron a decimales con el programa de la Federal Communications Commission (<http://transition.fcc.gov/mb/audio/bickel/DDDMSS-decimal.HTML>) con estos datos se construyó una matriz de distancias geográficas (DG) la cual se comparó con una matriz de distancias euclidianas, mediante la prueba de Mantel para determinar la correlación entre ambas matrices. La prueba de Mantel fue ejecutada mediante el paquete estadístico GenAlex (Peakall y Smouse, 2006).

IV. RESULTADOS

Se logró determinar el perfil químico foliar de cada individuo perteneciente al banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (Figura 3), con este método se detectaron 47 metabolitos secundarios en 216 individuos correspondientes a 54 colectas de aguacate criollo var., *drymifolia*.

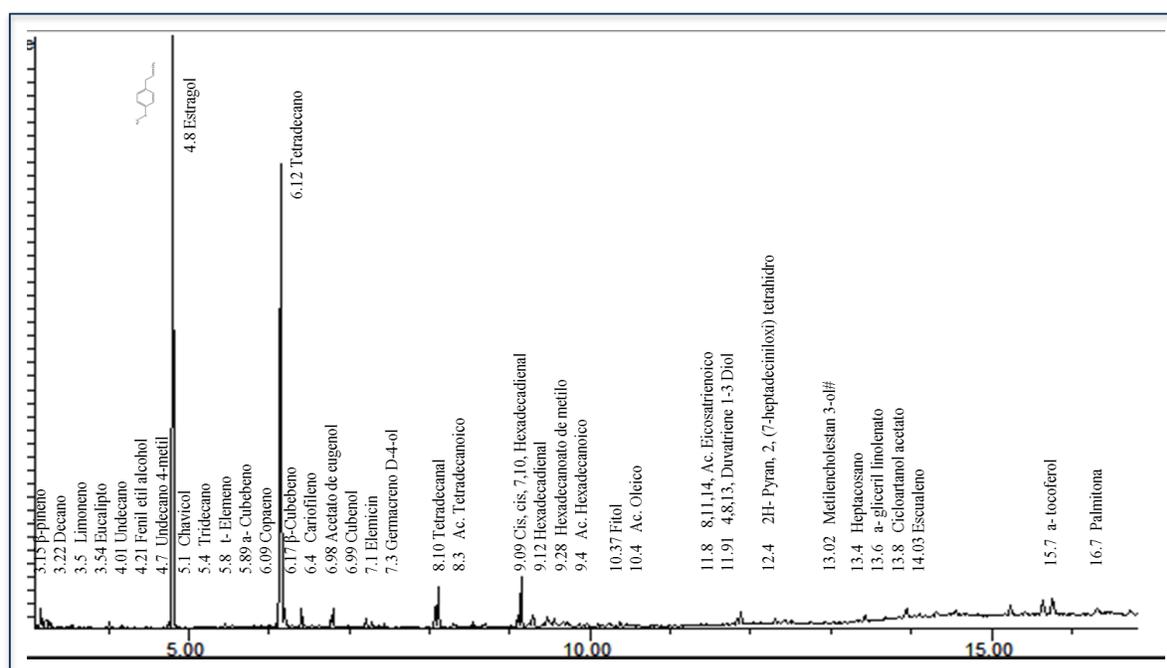


Figura 3. Cromatograma representativo de los tiempos de retención del tetradecano (estándar interno) y 37 metabolitos secundarios identificados en colectas de *Persea americana* Mill var., *drymifolia*.

Los metabolitos secundarios (MS) que se lograron identificar en el área foliar de los individuos analizados, se ordenaron de acuerdo a la clasificación biosintética de los MS (Ávalos-García y Pérez-Urria, 2009). Los resultados obtenidos indican que dentro de los MS identificados se encuentran 20 terpenos: siete monoterpenos (α -pineno, sabineno, β -

pineno, mirceno, limoneno, eucalipto, β -*cis*-ocimeno), diez sesquiterpenos (τ -elemeno, α -cubebeno, copaeno, β -cubebeno, caryofileno, α -humuleno, cubenol, nerolidol (*E*), germacreno D-4-ol, óxido de cariofileno), un diterpeno (fitol), un triterpeno (escualeno) y un politerpeno (α -tocoferol). Asimismo, se identificaron cuatro ácidos: ácido tetradecanoico, ácido hexadecanoico, ácido oleico y 8-11-14-ácido eicosatrienoico (*z,z,z*); seis ésteres: acetato de eugenol, hexadecanoato de metilo, linolenato de etilo, metil araquidonato, α -gliceril linolenato y cicloartenol acetato; una acetona: palmitona; un éter: 2H-pyran, 2-(7-heptadeciniloxi) tetrahidro; dos compuestos aromáticos: fenil etil alcohol y estragol; tres compuestos fenólicos: chavicol, metil eugenol y elemicin; tres aldehídos: tetradecanal, *cis,cis*-7,10- hexadecadienal y *cis,cis,cis*-7,10,13-hexadecatrienal; dos alcoholes: 4,8,13-duvatriene-1,3-diol y 2-metilecholestan-3-ol y cinco alcanos: undecano, decano, undecano 4-metil, tridecano y heptacosano. En los Cuadros 2 y 3, se presentan todos los MS identificados en tejido foliar de *P. americana* Mill var., *drymifolia*.

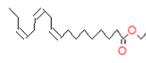
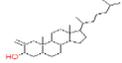
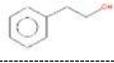
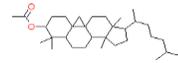
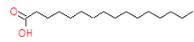
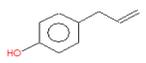
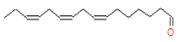
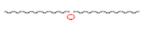
De los 47 MS identificados se calcularon los índices Kovats, el porcentaje que representa cada MS en cuanto a la concentración total y la frecuencia a la que se identificaron en las 54 colectas, estos datos se observan en el Cuadro 4. Los MS menos frecuentes fueron el chavicol y el acetato de eugenol al identificarse en solo cinco colectas, En contraste, el β -pineno, estragol, cariofileno, ácido hexadecanoico, heptacosano y α -tocoferol, se identificaron en las 54 colectas. Sin embargo, se observó una gran variabilidad en la concentración de MS; el 70.21% de los 47 MS identificados presentaron concentraciones que oscilaron entre cero y 2.5 mg g⁻¹ de hoja seca.

Cuadro 2. Estructura química de terpenos identificados en 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia* procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología.

α -Pinenol ¹ 	Eucalipto ¹ 	Copaeno ⁵ 	Nerolidol (<i>E</i>)- ⁵ 
Sabineno ¹ 	β - <i>cis</i> -Ocimeno ¹ 	β -Cubebeno ⁵ 	γ -elemeno ⁵ 
β -Pinenol ¹ 	Fitol ² 	Cariofileno ⁵ 	Germacreno D-4-ol ⁵ 
Mirceno ¹ 	Escualeno ³ 	α -Humuleno ⁵ 	Oxido de cariofileno ⁵ 
Limoneno ¹ 	α -Tocoferol ⁴ 	Cubeno ⁵ 	α -Cubebeno ⁵ 

¹Monoterpeno. ²Diterpeno. ³Triterpeno. ⁴Politerpeno. ⁵Sesquiterpeno.

Cuadro 3. Estructura química de éteres, compuestos aromáticos, compuestos fenólicos, acetonas, ésteres, alcanos, aldehídos y ácidos identificados en 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia* procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología

2H-Pyran, 2-(7-heptadecinioloxi) tetrahidro ¹ 	Linolenato de etilo ⁵ 	Undecano ⁶ 	2-Methylenecholestan-3-ol ⁸ 
Estragol ² 	Acetato de eugenol ⁵ 	Undecano 4-metil ⁶ 	4,8,13-Duvatriene-1,3-diol ⁸ 
Fenil etil alcohol ² 	Cicloartenol acetato ⁵ 	Tridecano ⁶ 	Ácido hexadecanoico ⁹ 
Metil eugenol ³ 	α -Gliceril linolenato ⁵ 	Heptacosano ⁶ 	Ácido oleico ⁹ 
Elemicin ³ 	Hexadecanoato de metilo ⁵ 	<i>Cis,cis</i> -7,10-hexadecadienal ⁷ 	Ácido tetradecanoico ⁹ 
Chavicol ³ 	Metil araquidonato ⁵ 	<i>Cis,cis,cis</i> -7,10,13-hexadecatrienal ⁷ 	8,11,14-Ácido eicosatrienoico (<i>z,z,z</i>)- ⁹ 
Palmitona ⁴ 	Decano ⁶ 	Tetradecanal ⁷ 	

¹ Éter. ²Compuestos aromáticos. ³ Compuestos fenólicos. ⁴Acetona. ⁵Ésteres. ⁶Alcanos. ⁷Aldehídos. ⁸Álcoholes. ⁹Ácidos.

Cuadro 4. Tiempo de retención, índice Kovats, concentración (%) total y frecuencia de los metabolitos secundarios identificados en las colectas de *P. americana* Mill var., *drymifolia* procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología.

MS ¹	TR ²	IK ³	% ⁴	F ⁵	MS ¹	TR ²	IK ³	% ⁴	F ⁵
α -Pinoeno	2.79	942	0.98	12	Nerolidol (<i>E</i>)	7.2	1577	0.65	49
Sabineno	3.11	986	0.02	7	Germacreno D-4-ol	7.37	1606	0.04	17
β -Pinoeno	3.15	993	4.75	54	Oxido de cariofileno	7.44	1618	0.59	46
Mirceno	3.20	1000	0.58	49	Tetradecanal	8.10	1732	1.73	49
Decano	3.26	1007	0.09	28	Ácido tetradecanoico	8.30	1766	0.05	26
Limoneno	3.5	1038	0.02	8	<i>Cis,cis</i> , 7,10-hexadecadienal	9.09	1903	0.19	41
Eucalipto	3.54	1043	0.73	53	<i>Cis,cis,cis</i> -7,10,13-Hexadecatrienal	9.12	1909	4.41	52
β - <i>cis</i> -Ocimeno	3.63	1056	0.38	39	Hexadecanoato de metilo	9.28	1936	1.74	40
Undecano	4.01	1107	0.56	44	Ácido hexadecanoico	9.46	1967	4.66	54
Fenil etil alcohol	4.21	1134	0.01	9	Fitol	10.37	2125	4.76	53
Undecano 4-metil	4.75	1206	2.77	43	Ácido oleico	10.43	2137	3.62	50
Estragol	4.83	1217	26.53	54	Ácido linoleico	10.72	2189	0.89	23
Chavicol	5.14	1262	0.07	5	Metil araquidonato	11.16	2268	3.32	48
Tridecano	5.45	1306	0.09	28	8,11,14-Ácido eicosatrienoico (<i>z,z,z</i>)-	11.86	2398	0.69	21
τ -Elemeno	5.81	1359	0.07	10	4,8,13-Duvatriene-1,3-diol	11.91	2406	1.19	28
α -Cubebeno	5.89	1370	0.03	15	2H-Pyran, 2-(7-heptadeciniloxi) tetrahydro-	12.49	2519	2.18	46
Copaeno	6.09	1400	0.39	44	2-Metilenecholestan-3-ol	13.02	2626	1.58	34
β -Cubebeno	6.17	1414	0.25	20	Heptacosano	13.40	2705	3.94	54
Metileugenol	6.20	1418	3.52	49	α -Gliceril linolenato	13.65	2763	2.91	45
Cariofileno	6.41	1451	5.85	54	Cicloartenol acetato	13.84	2805	0.86	30
α -Humuleno	6.62	1484	0.61	49	Escualeno	14.03	2848	3.51	52
Acetato de eugenol	6.98	1541	0.05	5	α -Tocoferol	15.76	3170	5.68	54
Cubenol	6.99	1543	0.61	48	Palmitona	16.72	3301	1.57	34
Elemicin	7.14	1568	0.07	17					

¹Metabolitos secundarios. ²Tiempo de retención. ³Índice Kovats. ⁴Porcentaje de concentración. ⁵Frecuencia.

El fenil etil alcohol se detectó en menor contenido (0.0164 mg g⁻¹), el 27.66 % (13 MS: β -pinoeno, undecano 4-metil, metileugenol, cariofileno, hexadecatrienal, ácido hexadecanoico, fitol, ácido oleico, metil araquidonato, heptacosano, α -gliceril linolenato, escualeno y α -tocoferol) oscilaron entre 2.5 a 6 mg g⁻¹. Es de resaltar el estragol, ya que presentó la mayor concentración (26.53 mg g⁻¹). En la Figura 4A, al analizar el contenido de este metabolito,

se aprecia la variación que existe entre las colectas; el contenido oscila entre 0.03 y 4.1 mg g⁻¹ de hoja seca. En la Figura 4B, se observan cinco colectas con concentraciones menores a 0.5 mg g⁻¹ de hoja seca; en contraste, solo tres presentaron concentraciones de 3.5 a 4.5 mg g⁻¹ de hoja seca.

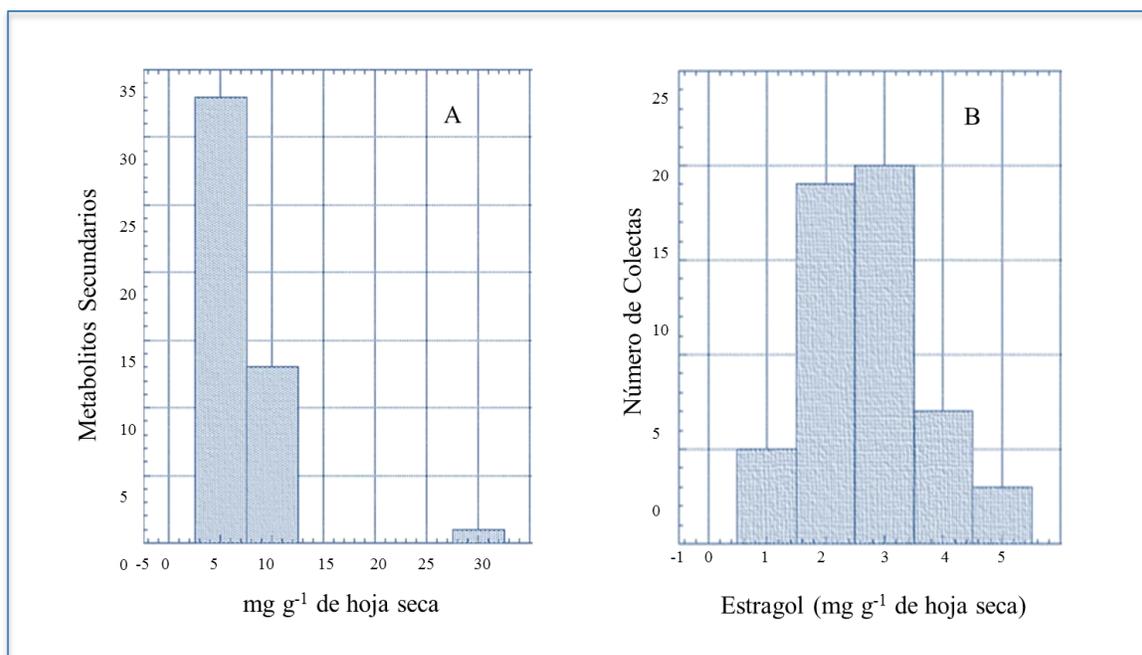


Figura 4. Histogramas de frecuencias para contenido de 47 metabolitos secundarios (A) y para contenido de estragol (B) en las 54 colectas analizadas de *P. americana* Mill var., *drymifolia* procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza en una vía, practicados para contenido de MS indicaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) para diez de ellos (decano, undecano 4-metil, tridecano, β -cubebeno, acetato de eugenol, óxido de cariofileno, *Cis,cis*-7,10-hexadecadienal, *Cis,cis,cis*-7,10,13-Hexadecatrienal, 4,8,13-duvatriene 1,3-diol y 2-metilenecholestan-3-ol) y diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) para fenil-etil-alcohol y el 8,11,14, ácido eicosatrienoico (*z,z,z*-). Los cuadros de varianza se presentan en el apartado del apéndice (Cuadro 1A a 12A) Los coeficientes de variación (CV) de los 12 MS con diferencias estadísticas oscilaron entre 98.13 y 896.43 correspondiendo el mayor

valor de CV al acetato de eugenol en contraste con el *cis, cis, cis* 7,10,13-hexadecatrienal.

En el Cuadro 5, se presentan los estadísticos simples y cuadrados medios del error obtenidos.

Cuadro 5. Estadísticos simples, cuadrados medios del error y probabilidad obtenidos del análisis de varianza practicado para 47 metabolitos secundarios identificados en 216 individuos de 54 colectas de *P. americana* Mill var., *drymifolia* procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología.

Metabolitos Secundarios	R ²	C.V. ¹	D.E. ²	Media	CME ³	Pr>F
Decano	0.34	196.54	0.01286	0.00610	0.00014	0.0131
Feni etil alcohol	0.46	473.28	0.00603	0.00108	0.00003	0.0001
Undecano 4-metil	0.41	128.08	0.26189	0.18162	0.05411	0.0002
Tridecano	0.38	198.86	0.01341	0.00613	0.00015	0.0019
β-cubebeno	0.41	341.69	0.06339	0.01640	0.00314	0.0002
Acetato de eugenol	0.40	896.43	0.03403	0.00339	0.00092	0.0004
Óxido de cariofileno	0.33	170.22	0.06984	0.03870	0.00434	0.0280
<i>Cis,cis</i> -7,10-hexadecadienal	0.33	271.52	0.03574	0.01246	0.00114	0.0341
<i>Cis,cis,cis</i> -7,10,13-Hexadecatrienal	0.34	98.13	0.30215	0.28877	0.08030	0.0190
8,11,14-ácido eicosatrienoico (<i>z,z,z</i>)-	0.43	299.19	0.15613	0.04544	0.01848	0.0001
4,8,13-duvatriene 1,3-diol	0.34	222.07	0.18471	0.07797	0.02998	0.0184
2-metilenecholestan-3-ol	0.39	175.88	0.20156	0.10333	0.03303	0.0009

¹Coefficiente de variación, ²Desviación estándar, ³Cuadrado medio del error.

En el análisis discriminante stepwise, se identificó el tridecano como uno de los MS que no aportó información a la variación de MS; al revisar los valores de correlación de Pearson, el decano (< .0001) se percibió altamente correlacionado con el tridecano así que se tomó la decisión de eliminar estos dos MS para hacer un análisis multivariado solo con los MS que aportan mayor información para interpretar la variación de MS entre las colectas. En el Cuadro 6, se observa la matriz de promedios que se obtuvo para llevar a cabo el análisis multivariado, se aplicó la técnica de análisis de componentes principales (ACP), en el cual se mostró que con los dos primeros componentes principales se explica un 32 % de la varianza que existe entre las accesiones (Cuadro 7). En la Figura 5, se muestra la

distribución geográfica de 54 colectas de *P. americana* Mill var., *drymifolia* procedentes de la franja aguacatera del estado de Michoacán, México, en función de dos componentes principales: el *cis, cis, 7,10*, hexadecadienal y *cis, cis, cis, 7,10,13*, Hexadecatrienal respectivamente, donde se observa que la mayoría de las colectas se acumulan en los valores centrales de ambos componentes, aunque hay algunas accesiones que destacan por la ausencia de *cis, cis, 7,10*, hexadecadienal por ejemplo: Tacámbaro 14, Tacámbaro 31, Ario 50, Ario 49, Salvador Escalante 53, Tacámbaro 11 y Uruapan 38.

Cuadro 6. Estadísticos simples de diez metabolitos secundarios seleccionados mediante el análisis de varianza, correlación de Pearson y análisis discriminante stepwise.

Metabolitos Secundarios	Media	D.E. ¹
Fenil-etil-alcohol	0.00107	0.00412
Undecano 4-metil	0.18162	0.16794
β-cubebeno	0.01640	0.04093
Acetato de eugenol	0.00338	0.02165
Oxido de cariofileno	0.03870	0.04037
Cis, cis, 7,10, hexadecadienal	0.01245	0.02053
Cis, cis, cis, 7,10,13, hexadecatrienal	0.28877	0.17669
8,11,14-ácido eicosatrienoico	0.04543	0.10293
4,8,13-duvatriene 1,3-diol	0.07797	0.10811
2-methylenecholestan-3-ol	0.10332	0.12633

¹Desviación estándar.

Cuadro 7. Varianza explicada en el análisis de componentes principales para 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia*.

	Autovalor	Diferencia	Proporción	Acumulada
1	1.813758	0.333975	0.1814	0.1814
2	1.479783	0.154755	0.148	0.3294
3	1.325028	0.251448	0.1325	0.4619
4	1.073579	0.114726	0.1074	0.5692
5	0.958853	0.026977	0.0959	0.6651
6	0.931875	0.178574	0.0932	0.7583
7	0.753300	0.112022	0.0753	0.8336
8	0.641278	0.019189	0.0641	0.8977
9	0.622089	0.221636	0.0622	0.96
10	0.400452		0.04	1

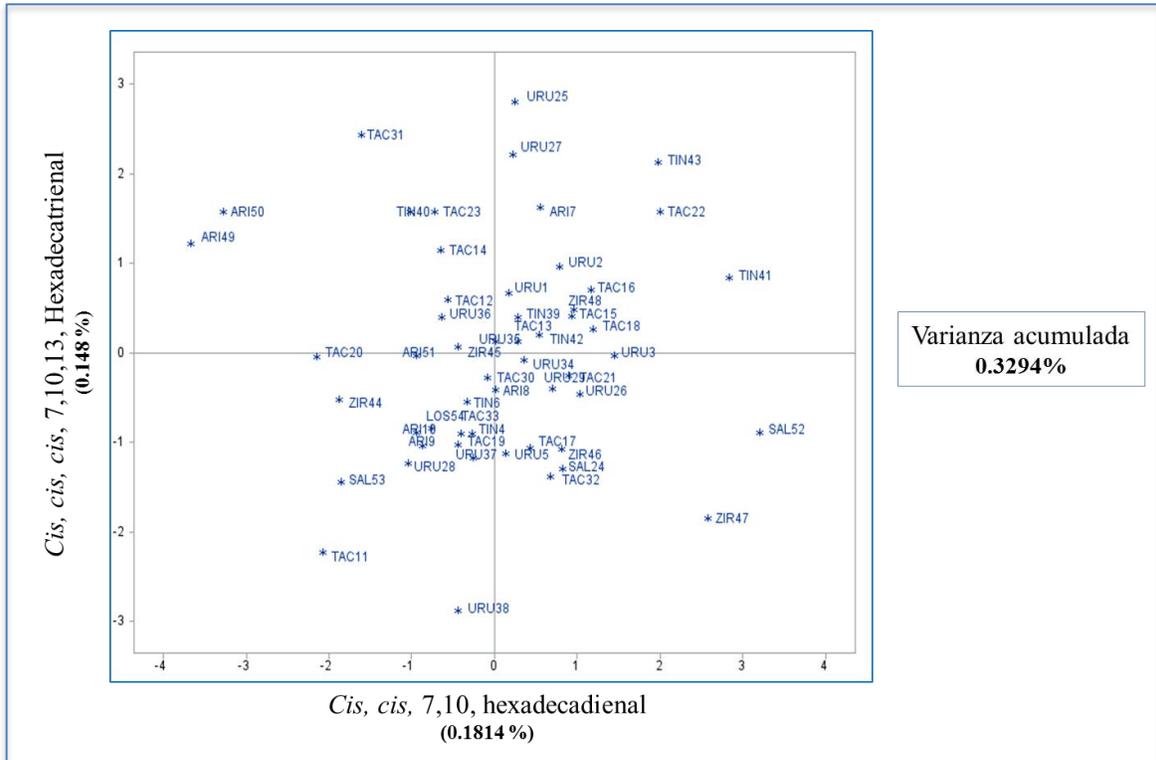


Figura 5. Distribución geográfica de 54 colectas de *P. americana* Mill var., *drymifolia* procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología, en función de los primeros dos componentes principales que explican el 32% de la varianza acumulada.

El dendrograma (Figura 6) generado del análisis clúster hecho con base en el método de agrupamiento de Ward, indicó que las accesiones no se agrupan de manera lógica en relación a su origen geográfico; para corroborar esta información se hizo la prueba de Mantel (Figura 7) con la cual se concluyó que efectivamente no existe correlación entre la distribución geográfica y la distribución de MS con una significancia de 0.069.

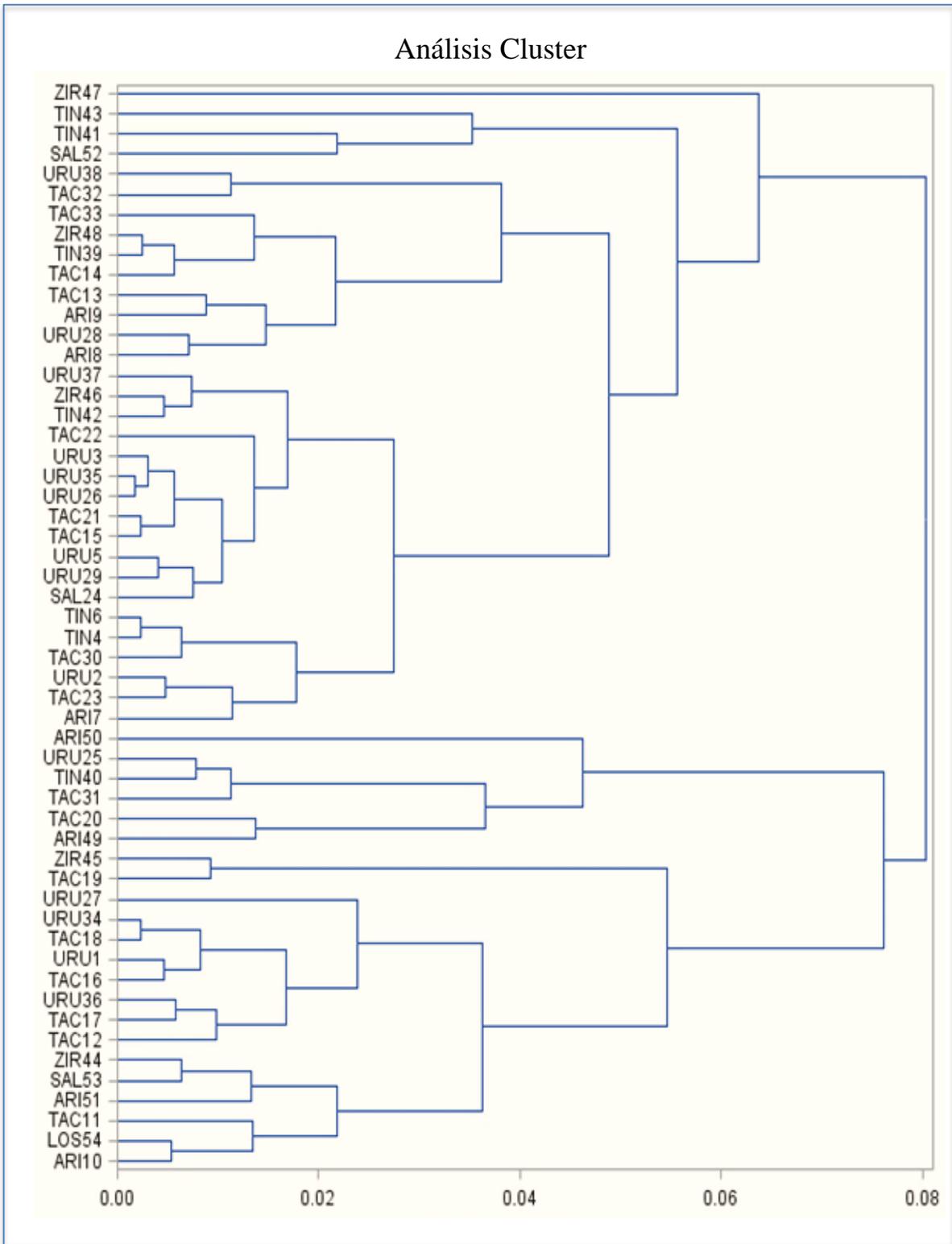


Figura 6. Dendrograma de disimilitud de 54 colectas de *P. americana* Mill var., *drymifolia* procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología, con base en la presencia y concentración de diez metabolitos secundarios en 216 individuos.

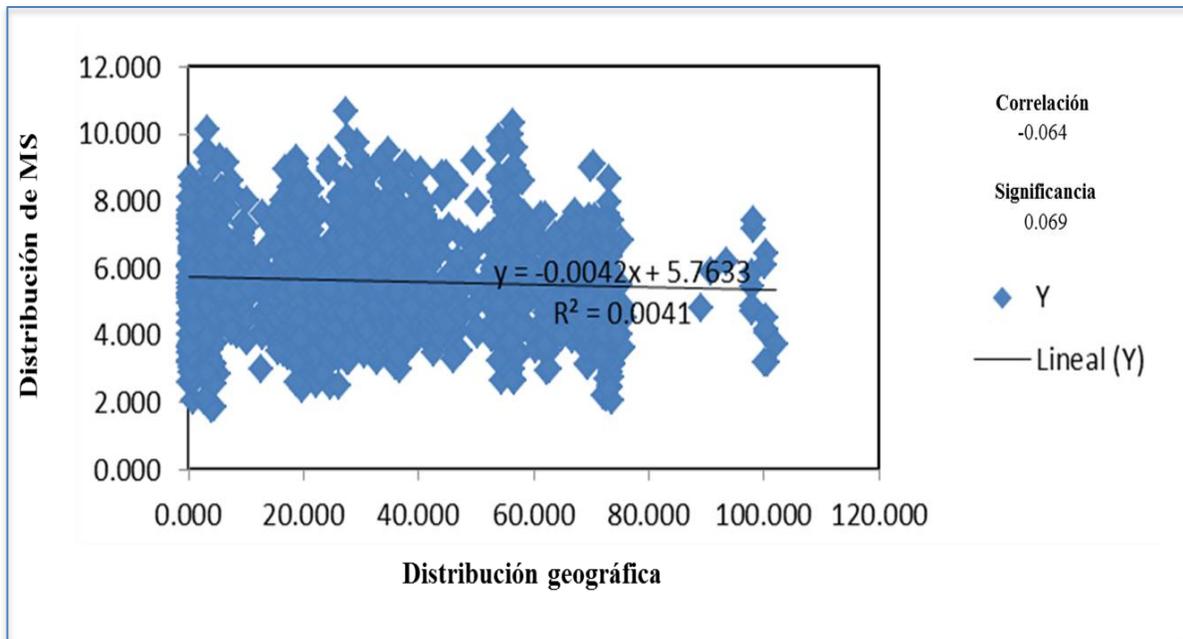


Figura 7. Prueba de Mantel; Correlación lineal entre distribución de metabolitos secundarios y distribución geográfica de 54 colectas de *P. americana* Mill var., *drymifolia* procedentes del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología.

V. DISCUSIÓN

En el presente trabajo de investigación fueron identificados 47 metabolitos secundarios (MS); del total, existe un grupo de 29 MS que ya han sido reportados en *P. americana* Mill y especies afines: α -pineno, sabineno, β -pineno, eucalipto, β -*cis*-ocimeno, estragol, óxido de cariofileno, limoneno, α -cubebeno, fitol, heptacosano, escualeno, chavicol, β -cubebeno, cariofileno, α -humuleno, germacreno D-4-ol, ácido tetradecanoico, copaeno, cubenol, decano, fenil etil alcohol, metileugenol, nerolidol (*E*), tetradecanal, γ -elemeno, ácido linoleico, ácido hexadecanoico y ácido oleico (Quing-Yi *et al.*, 2009; Torres-Gurrola *et al.*, 2009; Torres-Gurrola *et al.*, 2011; Rincón-Hernández *et al.*, 2011). El segundo grupo, constituido por 13 MS, no han sido reportados para *P. americana* y especies afines; sin embargo, existen reportes de su presencia en otras especies vegetales. El 4,8,13-duvatriene-1,3-diol se ha identificado en tabaco como inhibidor de crecimiento (Gluter *et al.*, 1976); el 8,11,14 ácido eicosatrienoico (*z,z,z*)- en *Melittis melissophyllum* (Velasco-Negueruela *et al.*, 2004), el acetato de eugenol, se ha reportado como componente principal en el aceite esencial de *Syzygium aromaticum* (Rosilene *et al.*, 2008) y con actividad antioxidante (Kwan-Geun y Takayuki, 2001); el *cis,cis*,7,10-hexadecadienal en *Euphorbia heterophylla* con actividad citotóxica, antioxidante y antimicrobial (Adedoyin *et al.*, 2013); el *cis,cis,cis*-7,10,13-hexadecatrienal en *Azadirachta indica* y *Allamanda cathartica* con actividad larvicida (Maragathavalli *et al.*, 2012); el elemicin en *Myristica fragrans* y *Daucus carota* con actividad tóxica y antibacterial (Jochen *et al.*, 2006; Paul-Georges *et al.*, 2007); el hexadecanoato de metilo se ha identificado en *Helicteres guazumifolia*, *Solanum subinerme* (Ordaz *et al.*, 2011) e *Ibervillea sonora* (Morales y Siles, 2013); el mirceno se identificó en *Chrisocoma ciliata* con actividad antimicrobial (Afolayan y Ashafa, 2009) y en

Syzigium aromaticum con actividad antioxidante (Rosilene *et al.*, 2008); la palmitona en *Annona diversifolia* actúa como anticonvulsivo (Cano-Europa *et al.*, 2010); el α -tocoferol en *Elaeis oleífera* y *Vaccinium meridionale* con actividad antioxidante (Rocha *et al.*, 2006; Gaviria-Montoya *et al.*, 2009); el cicloartenol acetato en propóleo con actividad antimicrobial (Palomino *et al.*, 2010); el 2H,pyran2-(7-heptadeciniloxi) tetrahydro- se identificó en la planta medicinal *Andrographis paniculata* (Kalaiselvan *et al.*, 2012); el 2-metilenecholestan-3-ol, se reportó como componente del aceite esencial de las flores de *Artemisia austro-yunnanensis* con actividad antioxidante (Chen-Xing *et al.*, 2014) y en *Alstonia scholaris*: planta utilizada en la medicina herbaria por sus propiedades medicinales (Islam *et al.*, 2013). Finalmente, se identificó un tercer grupo de 5 MS para los cuales no existen reportes de su presencia en especies vegetales: el undecano y el tridecano han sido reportados como compuestos defensivos en *Loxa deducta* y *Pellaea stictica* (Fávaro y Zarbin, 2012); el metil araquidonato como factor de crecimiento en animales (Seyhan *et al.*, 1961); el α -gliceril linolenato, es utilizado como solvente industrial (Floyd, 1941); el undecano 4-metil se ha identificado en aguas residuales (Gulyas y Reich, 1995) y en petróleo crudo (Auria *et al.*, 2009). Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación muestran la gran variabilidad en MS presentes en *P. americana* Mill var., *drymifolia*, incluyendo aquellos que no habían sido reportados en especies vegetales.

Por otra parte, el estragol fue el compuesto predominante, al igual que en reportes de caracterización química de individuos de distintas especies de *Persea* colectados en diferentes regiones de México (Torres-Gurrola *et al.*, 2009; Rincón-Hernández *et al.*, 2011). La evaluación del contenido de este MS en cada una de las colectas resulta interesante; por ejemplo, al evaluar la interacción aguacate criollo-*Trioza anceps* los

árboles con mayor concentración de estragol presentaron menor presencia de agallas foliares (Torres-Gurrola *et al.*, 2011). Se ha identificado al estragol como principal componente en otras especies y, con actividades biológicas de defensa importantes, por ejemplo, como insecticida (López *et al.*, 2008) el aceite esencial de *Ocimum basilicum* que indujo mortalidad por contacto al gorgojo del arroz (*Sitophilus oryzae*) (Pascual-Villalobos *et al.*, 2004), se detectó en aceite esencial de *Agastache foeniculum* (Mazza y Kiehn 1992), se ha utilizado contra el escarabajo rojo de la harina (*Tribolium castaneum* Herbst) y el barrenador de grano (*Rhyzopertha dominica*) (Ebadollahi, 2011); en *Pimpinella anisum* se reportó con efecto bactericida (Oriela *et al.*, 2012); también se le ha relacionado con actividad antifúngica (Fontenelle *et al.*, 2008), larvicida (Senthilkumar *et al.*, 2008) y genotóxica (Zani *et al.*, 1991). En este estudio, las colectas 43, 4 y 39 con origen en el municipio de Tingambato, Michoacán, México fueron las que presentaron mayor concentración de estragol, respectivamente, por lo que se esperaría que estos genotipos podrían presentar mejores atributos de defensa para ser utilizados como portainjertos selectos. En contraste, el fenil etil alcohol se presentó en menor concentración, este MS se ha identificado como volátil que determina el sabor y aroma en mezcal de *Agave angustifolia* Haw. (Vera-Guzmán *et al.*, 2012), además se reportó en *Murraya paniculata* con actividad farmacológica (Casado *et al.*, 2011).

La diversidad química de los metabolitos secundarios, es resultado de su función en las interacciones entre la planta, factores bióticos y abióticos (García-Rodríguez *et al.*, 2012); ya que pueden darse efectos sinérgicos y aditivos que funcionan contra un espectro muy amplio de consumidores (Berenbaum, 1985; Isman *et al.*, 1996). Las colectas que presentaron mayor número de MS fueron Tacámbaro-15, Tacambaro-23 y Zirauaretiro-47.

Todas las colectas provienen del banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología que es una colección de individuos provenientes de la Franja Aguacatera de Michoacán, México y de acuerdo a su origen, presentan diferencias en cuanto a ubicación geográfica, tipo de suelo, climas, precipitación pluvial etc. (Guillén-Andrade *et al.*, 2007). Por lo anterior, se esperaba que en el análisis de conglomerados, la variación de MS y la asociación de las colectas fueran determinadas por su origen. Sin embargo, solo se detectaron diferencias estadísticas significativas en doce MS, esto puede verse afectado por las condiciones agroclimáticas debido a que los genotipos tienen tres años de establecidos en el banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, asimismo, puede estar asociado a que los genotipos presentan diferencias en su expresión genética y el perfil químico esté sujeto a un fuerte control genético, así como lo está en otras especies arbóreas (Langenheim y Stubblebine 1983; Gershenzon *et al.*, 2000; McConkey *et al.*, 2000).

VI. CONCLUSIONES

Con base a las hipótesis, objetivos planteados y, de acuerdo a las condiciones experimentales en las que se desarrolló el presente trabajo de investigación, se concluyó lo siguiente:

El germoplasma de *Persea americana* Mill var., *drymifolia* analizado presentó diferencias en el tipo y concentración de metabolitos secundarios presentes en el tejido foliar.

Se identificaron 47 metabolitos secundarios de los cuales 18 no han sido reportados en hojas de especies de *Persea americana* Mill var., *drymifolia*.

En todas las colectas analizadas se determinó la presencia de seis metabolitos secundarios: α -Pino, estragol, cariofileno, ácido hexadecanoico, heptacosano y α -tocoferol.

No se determinó relación alguna entre la presencia y concentración de metabolitos secundarios con el origen geográfico de las colectas analizadas.

VII. LITERATURA CITADA

- Adedoyin** B J, Okeniyi S O, Garba S y Salihu L. 2013. Cytotoxicity, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil extracted from *Euphorbia heterophylla*. Top Class Journal of Herbal Medicine 2(5): 84-89.
- Afolayan** A J y Ashafa A O T. 2009. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil from *Chrysocoma ciliata* L. leaves. Journal of Medicinal Plants Research 3(5): 390-394.
- Anaya-Lang** A L. 2003. Metabolismo secundario. In Instituto de Ecología (Ed.), *Ecología Química*. Plaza y Valdés Editores. México. 35-75 pp.
- Anaya-Lang** A L y Espinosa-García F J. 2006. La química que entreteje a los seres vivos. Ciencias 83: 4-13.
- Auria** M D, Emanuelle L, Racioppi R y Velluzzi V. 2009. Photochemical degradation of crude oil: Comparison between direct irradiation, photocatalysis, and photocatalysis on zeolite. Journal of Hazardous Materials 164(1): 32-38.
- Ávalos-García** A y Pérez-Urria E. 2009. Metabolismo secundario de plantas. Reduca (Biología) Serie Fisiología Vegetal 2: 119-145.
- Ayala-Arreola** J, Barrientos-Priego A F, Colinas-León M T, Sahagún-Castellanos J y Reyes-Aleman J C. 2010. Relaciones injerto-interinjerto y características anatómicas y fisiológicas de la hoja de cuatro genotipos de aguacate. Revista Chapingo Serie Horticultura 16: 147-154.
- Ben-Ya'acob** A D, Zilberstaine M y Sela I. 1992. A Study of Avocado Germplasm Resources, 1988-1990. V. The Evaluation of the Collected Avocado Germplasm Material for Horticultural Purposes. Proceedings of Second World Avocado Congress. 559-562 pp.
- Berenbaum** M R. 1985. Rementown revisited: interactions among allelochemicals in plants. Recent Advances in Phytochemistry 19: 139-169.
- Bowman** K D y Scora R W. 1992. The Necessity of Avocado Germplasm Resources. Proceedings of Second World Avocado Congress. 531-534 pp.
- Cabezas** C, Hueso J J y Cuevas J. 2003. Identificación y descripción de los estados fenológicos-tipo de aguacate (*Persea americana* Mill). V Congreso Mundial del aguacate. 237-242 pp.
- Campos-Rojas** E, Hernández-Vasquez F L, Espíndola-Barquera M C, Reyes-Alemán J C y Barrientos-Priego A F. 2011. Caracterización de aguacates criollos mexicanos (*Persea drimifolia*) como donadores de semilla. VII Congreso mundial del aguacate .

- Cano-Europa E**, González-Trujano M E, Reyes-Ramírez A, Hernández-García A, Blas-Valdivia V y Ortiz-Butrón R. 2010. Palmitone prevents pentylenetetrazole-caused neuronal damage in the CA3 hippocampal region of prepubertal rats. *Neuroscience Letters* 470(2): 111-114.
- Casado M C M**, Gutiérrez G Y I y Rodríguez A E. 2011. Acercamiento al género *Murraya* (Rutaceae) y a la especie *Murraya paniculata* (L.) Jack. *Revista cubana de plantas medicinales* 16(4): 408-418.
- Cuiris-Pérez H**, Guillén-Andrade H, Pedraza-Santos M E, López-Medina J y Vidales-Fernández I. 2009. Genetic variability within mexican race avocado (*Persea americana* Mill) germoplasm collections determined by ISSRs. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 169-175.
- Chen-Xing Z**, Zhang Mi, Jing He, Ya-Fang y Bao-Cai Li. 2014. Chemical composition and antioxidant activity of the essential oil from the flowers of *Artemisia austro-yunnanensis*. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 6(7): 1583-1587.
- Ebadollahi A**. 2011. Chemical constituents and toxicity of *Agastache foeniculum* (pursh) akuntze essential oil against two stored-product insect pests. *Chilean Journal of Agricultural Research* 72(2): 212-217.
- Espinosa-García F J**, García-Rodríguez Y, Chávez-Zavala F, Chávez-Zavala A y Delgado G. 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. *Memorias Primer Congreso Mexicano y Latinoamericano del Aguacate*. 46-57 pp.
- Fávaro C F** y Zarbin P H G. 2012. Identification of the defensive compounds in metathoracic and dorsal abdominal glands of the stink bugs *Loxa deduca* and *Pellaea stictica* (Heteroptera: Pentatomidae). *Química Nova* 35(8).
- Floyd T**. 1941. Furfural as a Solvent. *Industrial and Engineering Chemistry* 33(5): 660-662.
- Fontenelle R O S**, Orais S M, Rito E H S, Rilhante R S N, Ordeiro R A, Nascimento N R F, Erntopf M R, Idrim J J C y Ocha M F G. 2008. Antifungal activity of essential oils of *Croton* species from the Brazilian *Caatinga* biome. *Journal of Applied Microbiology*. 104: 1383-1390.
- García D E**. 2004. Los metabolitos secundarios de las especies vegetales. *Pastos y forrajes* 27: 1-12.
- García-Rodríguez Y M**, Bravo-Monzón A, Martínez-Díaz Y, Torres-Gurrola G y Espinosa-García F J. 2012. Variación Fitoquímica Defensiva en Ecosistemas Terrestres. *Ecología Química*: 217-250 pp.

- Gaviria-Montoya** C, Ochoa O C, Sánchez M N, Medina C C, Lobo A M, Galeano GP, Mosquera M A, Tamayo T A, Lopera P Y y Rojano B. 2009. Actividad antioxidante e inhibición de la peroxidación lipídica de extractos de frutos de mortiño (*Vaccinium meridionale* SW). Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas 8(6): 519-528.
- Gershenzon** J, McConkey M y Croteau R B. 2000. Regulation of monoterpene accumulation in leaves of peppermint. *Plant Physiology* 122: 205-213.
- Gluter** H G, Reid W W y Delétang J. 1976. Plant growth inhibiting properties of diterpenes from tobacco. *Plant and Cell Physiology* 18(3): 711-714.
- Guillén-Andrade** H, Lara-Chávez M B N, Gutiérrez-Contreras M, Ortiz-Catón M, y Angel-Palomares M E. 2007. Cartografía agroecológica del cultivo del Aguacate en Michoacán. Morevallado Editores. ISBN 9789707035669. 141 p.
- Guillén-Andrade** H, Lara-Chávez M B N, Torres-Gurrola G, Escalera-Ordaz A K y Tapia-Vargas L M. 2013. Caracterización fenotípica de germoplasma de aguacate (*Persea americana* Mill) criollo de Michoacán. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29, 212.
- Gulyas** H y Reich M. 1995. Organic compounds at different stages of a refinery wastewater treatment plant. *Warher Science and Technology* 32(7): 119:126.
- Gutiérrez-Contreras** M, Lara-Chávez M B N, Guillén-Andrade H y Chávez-Barcenas A T. 2010. Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia* 35: 647-653.
- Gutiérrez-Diez** A, Martínez-de la Cerda J, García-Zambrano E A, Iracheta-Donjuan L, Ocampo-Morales J D y Cerda-Hurtado I M. 2009. Estudio de la diversidad genética del aguacate nativo en Nuevo León, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32: 9-18.
- Hanamanthagouda** M S, Kakkamelis S B, Naik P M, Nagella P, Seetharamareddy H R y Murthy H N. 2010. Essential oils of *Lavandula bipinnata* and their antimicrobial activities. *Food Chemistry*. 118: 836-839.
- Harborne** J. 1998. *Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis*. Chapman & Hall. London, UK. 200 p.
- Iriondo-Alegría** J M. 2001. Conservación de germoplasma de especies raras y amenazadas. *Invest. Agr.* 16-24 pp.
- Islam** F, Islam S, Nandi N C y Satter M A. 2013. Essential oil composition from the flowers of *Alstonia scholaris* of Bangladesh. *International Food Research Journal* 20(6): 3185-3188.
- Isman** MB, Matsuura H, McKinnon S M, Durst T, Towers G H N y Arnason J T. 1996. Phytochemistry of the Meliaceae. So many terpenoids, so few insecticides. *Recent Advances in Phytochemistry* 30: 155-178.

- Jochen M S B**, Dorothea P D E y Hans H M. 2006. Abuse of nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.): studies on the metabolism and the toxicologic detection of its ingredients elemicin, myristicin, and safrole in rat and human urine using gas chromatography/mass spectrometry. *Therapeutic Drug Monitoring* 28(4): 568-575.
- Kalaiselvan A**, Gokulakrishnan K y Anand T. 2012. Gas chromatography-Mass spectrum analysis of bioactive components of the ethanol extract of *Andrographis paniculata*. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Sciences* 20(15): 1-3.
- Khokra S L**, Prakash O, Jain S, Aneja K R y Dhingra Y. 2008. Essential oil composition and antibacterial studies of *Vitex negundo* linn. extracts. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 70: 522-526.
- Krueger C G**, Carter-Dopke N, Treichel P M, Folts J y Reed J D. 2000. Matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry of polygalloyl polyflavan-3-ols in grape seed extract. *J. Agric. Food Chem.* 48(5):1663.
- Kwang-Geun L** y Takayuki S. 2001. Anioxidant property of aroma extract is isolated from clove buds (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. Et Perry). *Food Chemistry* 74(4): 443-448.
- Langenheim J H** y Stubblebine W H. 1983. Variation in leaf resin composition between parent tree and progeny in *Hymenaea*: Implications for herbivory in the humid tropics. *Biochem. Syst. Ecol.* 11: 97-106.
- López M D**, Jordan M J y Pascual-Villalobos M J. 2008. Toxic compounds in essential oils of coriander, caraway and basil active against stored rice pests. *Journal of Stored Products Research*. 44: 273-278.
- López-Gómez R**, Torres-Cárdenas Y, Chávez-Moctezuma M, Salgado-Garciglia R, Jiménez-Moraila B, Corona-Armenta G y Herrera-Estrella R. 2007. Genómica del fruto de aguacate criollo (*Persea americana* Mill var *drymifolia*), Actas VI Congreso mundial del aguacate.
- López-Guzmán G**, Medina T R, Guillén-Andrade H, Ramírez G L, Aguilar C J y Valdivia R M. 2012. Características fenotípicas de hoja y fruto en selecciones de aguacate criollo de clima subtropical en el estado de Nayarit. *Revista Fuente ISSN 4*: 56-62.
- López-Jiménez A**, Barrientos-Priego A, Reyes-Aleman J C, Espíndola-Barquera M C, Hernández-Vasquez F L, Campos-Rojas E, Ayala-Arreola J, Mijares-Oviedo P y Zárate-Chávez J J. 2010. Donadores de semilla de aguacate. Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de semillas. México, 14 p.
- López-López L**, Barrientos-Priego A y Ben-Ya'acob A D. 1999. Variabilidad genética de los bancos de germoplasma de aguacate preservados en el Estado de Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 19-23.

- Lorea-Hernández** F G. 2002. La familia Lauraceae en el sur de México: diversidad, distribución y estado de conservación. Boletín de la Sociedad Botánica de México 71: 59-70.
- Macías-Macías** A. 2011. México en el mercado internacional de aguacate. Revista de Ciencias Sociales XVII, 517-532 pp.
- Maragathavalli** S, Brindha S, Kaviyarasi N S, Annadurai B y Gangwar S K. 2012. Mosquitos larvicidal activity of leaf extract of neem (*Azadirachta indica*). International Journal of Advanced Biological Research 2(1): 138-142.
- Mazza** G y Kiehn F A. 1992. Essential oil of *Agastache foeniculum*, a potential source of methyl chavicol. Journal of Essential Oil Research 4(3): 295-299.
- McConkey** M E, Gershenzon J y Croteau R B. 2000. Developmental regulation of monoterpene biosynthesis in the glandular trichomes of peppermint. Plant Physiology 122: 215-223.
- Medina-Torres** R, Salazar-García S y Cosío-Vargas E. 2010. Identificación y caracterización de fruto de selecciones de aguacate criollo en el clima cálido de Nayarit, México. Revisión. Revista Fuente. 4(10) 56-62.
- Meza-Castillo** E. 2002. Caracterización histológica de ápices de raíz de genotipos clonales, promisorios, y sobresalientes como portainjertos de aguacate (*Persea americana* Mill). Tesis (Ingeniero Agrónomo Especialidad en Fitotecnia). Universidad Autónoma de Chapingo. 87 p.
- Morales** D M y Siles S. 2013. Identificación de los principales componentes de la raíz de wereque, extraíbles en medio acuoso, por cg-ms. Avances en Ciencias e Ingeniería. 4(2): 15-21
- Moreno** H P R, Leite-Lima M E, Rossi-Caruzo M B, Carneiro-Torres D S, Cordeiro I y Marx M C. 2009. Chemical Composition and Antimicrobial Activity of the Essential Oil from *Croton heterocalyx* Baill. (Euphorbiaceae s.s.) Leave. Journal of Essential Oil Research 21, 190-192.
- Ordaz** G, D'Armas H, Yañez D y Moreno S. 2011. Chemical composition of essential oils from leaves of *Helicteres guazumifolia* (Sterculiaceae), *Piper tuberculatum* (Piperaceae), *Scoparia Dulcis* (Arecaceae) and *Solanm subinerme* (Solanaceae) from Sucre, Venezuela. Rev. Biol. Trop. 59(2): 585-595.
- Oriela** P, Sánchez Y, Rojas M M, Abreau Y y Correa T M. 2012. Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial de *Pimpinella anisum* L. Revista de Protección Vegetal 27(3): 181-187.
- Ormeño** E y Fernández C. 2012. Los terpenos de las plantas. Investigación y Ciencia. 62-69 pp.
- Ortega-Tovar** M A. 2003. Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate Hass. Actas V Congreso Mundial del Aguacate. 741-748 pp.

- Palomino G L R**, Martínez G J P, García P C M, Gil G J H y Durango R D L. 2010. Caracterización fisicoquímica y actividad antimicrobiana del propoleos en el municipio de la Unión (Antioquia, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*.
- Pascual-Villalobos M J**, Ballesta-Acosta M C y Soler A. 2004. Toxicidad y repelencia de aceites esenciales en plagas de almacé del arroz. *Bol. San. Veg. Plagas* 30: 279-286.
- Paul-Georges R**, Bao L, Lucuani A, Panighi J, Desjobert J M, Costa J, Casanova J, Bolla J M y Berti L. 2007. (*E*)-Methylisoeugenol and Eleicin: Antibacterial components of *Dacus carota* L. Essential oil against *Campylobacter jejuni*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55(18): 7332-7336.
- Peakall R** y Smouse P E. 2006. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes* 6: 288-295.
- Pearson K** y Filon L N G. 1898. Contributions to the mathematical theory of evolution, IV: on the probable errors of the frequency constants and on the influence of random selection on variation and correlation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, 191: 229-311.
- Pimentel-Bribiesca L** 2009. Producción de árboles y arbustos de uso múltiple. Mundi Prensa México, S. A. de C. V. México. 237 p.
- Quing-Yi L**, Zang Y, Wang Y, Wang D, Ru-Po L, Gao K, Birns R y Heber D. 2009. California Hass Avocado: Profiling of Carotenoids, tocopherol, fatty acid, and fat content during maturation and from different growing areas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57: 10408-10413.
- Rincón-Hernández C A** y Espinosa-García F J. 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.
- Rincón-Hernández C A**, Sánchez-Pérez J y Espinosa-García F J. 2011. Caracterización química foliar de los árboles de aguacate criollo (*Persea americana* var., *drymifolia*) en los bancos de germoplasma de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 395-412.
- Rocha S P J**, Prada C F, Rey B L R y Ayala D I M. 2006. Caracterización bioquímica parcial de la colección de *Elaeis oleifera* de Cenipalma proveniente de la Amazonía colombiana. *Palmas* 27(3): 35-44.
- Romano J P** y Wolf M. 2005. Stepwise multiple testing as formalized data snooping. *Econometrica*, 73(4): 1237-1282.
- Rosilene A**, Vieira R T, Kersul do Sacramento C, Pains D L y Faustino de Oliveira F. 2008. Constituintes químicos voláteis de especiarias ricas em eugenol. *Revista Brasileira de farmacognosia* 19(3): 771-775.

- SAS Institute** Inc. 2012 Introduction to Bayesian Analysis Procedures. In: SAS/STAT 9.2 User's Guide, Ch. 7. SAS Institute, Inc., Cary, NC. 141-179 pp.
- Scochfield P**, Mbugua D M y Pell A N. 2001. Análisis de los taninos condensados: una revisión. *Ciencia y Tecnología* 91: 21-40.
- Senthilkumar A**, Kannathasan K y Venkatesalu K. 2008. Chemical constituents and larvicidal property of the essential oil of *Blumea mollis* (D. Don) Merr. against *Culex quinquefasciatus*. *Parasitology Research*. 103: 959-962.
- Sepúlveda-Jiménez G**, Porta-Ducoing H y Rocha-Sosa M. 2003. La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 21: 355-363.
- Seyhan N E**, Wolovsky y Gensler W J. 1961. Synthesis of Methyl 5,8,11,14-Eicosatetraenoate (Methyl arachidonate). *Journal of the American Chemical Society* 83(14): 3080-3085.
- Singleton V L**, Orthofer R y Lamuela-Raventós R. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Meth. Enzymology*. 299: 152.
- Téliz O D** y Marroquín P F J. 2007. Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. En: Téliz, O. D y Mora, A. A. *El aguacate y su manejo integrado*. 2ª ed. Mundi Prensa. Ixtapaluca, Edo. De México. 1-28 pp.
- Theis N** y Lerda M. 2003. The evolution of function in plant secondary metabolites. *International Journal of Plant Sciences*. 164: 93-102.
- Torres-Gurrola G**, Montes-Hernández S y Espinosa-García F J. 2009. Patrones de variación y distribución geográfica en fenotipos químicos foliares de *Persea americana* var., *drymifolia*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32: 19-30.
- Torres-Gurrola G**, Delgado-Lamas G y Espinosa-García F J. 2011. The foliar chemical profile of criollo avocado, *Persea americana* var., *drymifolia* (Lauraceae), and its relationship with the incidence of a gall-forming insect, *Trioza anceps* (Trioziidae). *Biochemical Systematics and Ecology* 39: 102–111.
- Velasco-Negueruela A**, Sanz J, Pérez-Alonso M J y Palá-Paúl J. 2004. The volatile components of the aerial parts of *Melittis melissophyllum* L. subsp. *melissophyllum* gathered in Spain. *Botanica Complutensis* 28: 133-136.
- Vera-Guzmán A M**, López M G y Chávez-Servía J L. 2012. Efecto del sulfato de amonio en el perfil químico del mezcal de *Agave angustifolia* Haw. *Memorias en extenso del Congreso Nacional de Química Analítica*. 489-494 pp.
- Vivanco J**, Cosio E, Loyola-Vargas V M y Flores H. 2005. Mecanismos químicos de defensa en las plantas. *Investigación y Ciencia*, 75 p.

Zani F, Massimo G, Benvenuti S, Bianchi A, Albacini A, Melegari M, Vampa G, Belloti A y Mazza P. 1991. Studies on the genotoxic properties of essential oils with *Bacillus subtilis* rec-assay and *Salmonella*/microsome reversion assay. *Planta Medica*. 54: 237-241.

Páginas consultadas en internet:

Programa de la Federal Communications Commission (<http://transition.fcc.gov/mb/audio/bickel/DDDMSS-decimal.HTML>). Fecha de consulta: 28-12-2014.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.gob.mx/cierre-de-la-producción-agricola-por-estado. Fecha de consulta: 14-02-2015.

VIII. APÉNDICE

Cuadro 1A. Análisis de varianza en una vía para decano evaluado en una población de 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia*.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	53	0.01222829	0.00023072	1.60	0.0131
Error	162	0.02330571	0.00014386		
Total corregido	215	0.03553401			

$R^2= 0.344129$, C.V.= 196.5401

Cuadro 2A. Análisis de varianza en una vía para fenil etil alcohol evaluado en una población de 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia*.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	53	0.00361112	0.00006813	2.63	<.0001
Error	162	0.00419824	0.00002592		
Total corregido	215	0.00780936			

$R^2= 0.462409$, C.V.= 473.2753

Cuadro 3A. Análisis de varianza en una vía para undecano 4-metil evaluado en una población de 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia*.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	53	5.97973817	0.11282525	2.08	0.0002
Error	162	8.76651693	0.05411430		
Total corregido	215	14.74625510			

$R^2= 0.405509$, C.V.= 128.0823

Cuadro 4A. Análisis de varianza en una vía para tridecano evaluado en una población de 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia*.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	53	0.01455112	0.00027455	1.84	0.0019
Error	162	0.02410745	0.00014881		
Total corregido	215	0.03865856			
R²= 0.376401, C.V.= 198.8581					

Cuadro 5A. Análisis de varianza en una vía para β -cubebeno evaluado en una población de 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia*.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	53	0.35516750	0.00670127	2.13	0.0002
Error	162	0.50888827	0.00314129		
Total corregido	215	0.86405576			
R²= 0.411047, C.V.= 341.6885					

Cuadro 6A. Análisis de varianza en una vía para acetato de eugenol evaluado en una población de 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia*.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	53	0.09940179	0.00187551	2.03	0.0004
Error	162	0.14958191	0.00092335		
Total corregido	215	0.24898370			
R²= 0.399230, C.V.= 896.4339					

Cuadro 7A. Análisis de varianza en una vía para óxido de cariofileno evaluado en una población de 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia*.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	53	0.34560918	0.00652093	1.50	0.0280
Error	162	0.70308044	0.00434000		
Total corregido	215	1.04868962			
R²= 0.329563, C.V.= 170.2192					

Cuadro 8A. Análisis de varianza en una vía para *cis,cis-7,10*-hexadecadienal evaluado en una población de 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia*.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	53	0.08939710	0.00168674	1.47	0.0341
Error	162	0.18528162	0.00114371		
Total corregido	215	0.27467872			
R²= 0.325461, C.V.= 271.5215					

Cuadro 9A. Análisis de varianza en una vía para *cis,cis,cis-7,10,13*-Hexadecatrienal evaluado en una población de 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia*.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	53	6.61877765	0.12488260	1.56	0.0190
Error	162	13.00898493	0.08030238		
Total corregido	215	19.62776257			
R²= 0.337215, C.V.= 98.13209					

Cuadro 10A. Análisis de varianza en una vía para 8,11,14-ácido eicosatrienoico (z,z,z)-evaluado en una población de 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia*.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	53	2.24647870	0.04238639	2.29	<.0001
Error	162	2.99423647	0.01848294		
Total corregido	215	5.24071517			
R² 0.428659, C.V. = 299.1946					

Cuadro 11A. Análisis de varianza en una vía para 4,8,13-duvatriene 1,3-diol evaluado en una población de 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia*.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	53	2.47800849	0.04675488	1.56	0.0184
Error	162	4.85699874	0.02998147		
Total corregido	215	7.33500723			
R² 0.337833, C.V. = 222.0674					

Cuadro 12A. Análisis de varianza en una vía para 2-metilenecholestan-3-ol evaluado en una población de 216 individuos de *P. americana* Mill var., *drymifolia*.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	53	3.38374556	0.06384426	1.93	0.0009
Error	162	5.35070347	0.03302903		
Total corregido	215	8.73444902			
R² 0.387402, C.V. = 175.8834					

IX. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Alcaloides	Compuestos orgánicos de origen natural, nitrogenados, derivados generalmente de aminoácidos, con propiedades farmacológicas.
Alelopática	Sustancia química liberada por una planta que provoca un efecto perjudicial sobre la germinación o desarrollo de otras.
Aminoácidos	Ácidos esenciales constituidos por un grupo amino y un grupo carboxilo.
Análisis de conglomerados	Método destinado a formar agrupamientos de objetos o individuos, descritos por un cierto número de variables.
Análisis multivariado	Métodos estadísticos utilizados en el análisis de más de dos variables.
Antifúngico	Sustancia que tiene la capacidad de evitar el crecimiento de algunos tipos de hongos.
Bactericida	Sustancia de origen natural o sintetizada químicamente que es capaz de causar la muerte bacterias.
Banco de germoplasma	Depósito de recursos fitogenéticos que proporcionan la materia prima para el mejoramiento de los cultivos.
Centro de origen	Región en donde se inició su proceso de domesticación, selección y mejoramiento.
Conservación <i>ex situ</i>	Protección de muestras representativas de la variabilidad genética de una especie y su mantenimiento fuera de las condiciones naturales en las que la especie ha evolucionado.
Conservación <i>in situ</i>	Se refiere al cuidado de la biodiversidad en su entorno natural o sitio de origen.
Cromatografía	Es una técnica que permite separar, cuantificar, aislar e identificar los componentes de una mezcla.
Cromatografía de gases	En esta técnica los compuestos se distribuyen en una fase móvil gaseosa, interaccionan con la fase estacionaria por cambios de temperatura y los compuestos son separados en base a su volatilidad.

Diversidad genética	Es el número de individuos con diferencias genéticas, dentro de una población.
Especie alógama	Es aquella cuya reproducción consiste en la polinización cruzada.
Espectrometría de masas	Es una técnica de análisis cualitativo basada en la obtención de iones a partir de moléculas orgánicas en fase gaseosa, los iones se separan de acuerdo con su masa y carga.
Fenilpropanoides	Son una familia diversa de compuestos orgánicos que son sintetizados por las plantas desde el aminoácido fenilalanina. Sirven como componentes esenciales de una serie de polímeros estructurales, proporcionan protección contra los rayos ultravioleta, defenderse de los herbívoros y patógenos, y mediar en las interacciones planta-polinizador como pigmentos florales y compuestos de aroma.
Fitoquímica	Ciencia que estudia las estructuras, propiedades y síntesis de los componentes químicos de los vegetales.
Fungicida	Son sustancias tóxicas que se emplean para impedir el crecimiento de los hongos.
Genotóxico	Sustancia química capaz de alterar la información genética celular.
Germoplasma	Material genético, conjunto de genes que se transmiten a través de procesos reproductivos de una generación a otra. Usualmente el término germoplasma se utiliza para designar el genoma de las especies vegetales silvestres y no genéticamente modificadas de interés para la agricultura y para la conservación de la diversidad biológica del planeta.
Índices Kovats	Concepto utilizado en la cromatografía de gases para convertir los tiempos de retención en constantes independientes del sistema.
Insecticida	Sustancia química utilizada para matar insectos.
Larvicida	Sustancia utilizada en el control de larvas.
Material genético	Cualquier elemento de origen vegetal, animal, microbiano u otro que contenga ADN.
Metabolito	Cualquier molécula producida durante el metabolismo.

Metabolitos secundarios (MS)	Moléculas orgánicas que tienen diversas funciones para la supervivencia en la naturaleza, por ejemplo, tienen gran importancia ecológica al participar en los procesos de adaptación de las plantas a su ambiente, establecimiento de simbiosis con otros organismos, atracción de insectos polinizadores, entre otros.
Prueba de Mantel	Técnica estadística utilizada para calcular la correlación lineal entre dos matrices.
Recursos fitogenéticos	Cualquier material de origen vegetal que contiene unidades funcionales de la herencia, es la materia prima que los agricultores y fitomejoradores utilizan para mejorar la calidad y la productividad de especies.
Terpenos	Son compuestos orgánicos abundantes en los vegetales y su clasificación se determina por el número de isoprenos que contienen.
Tiempo de retención	Es el tiempo que transcurre después de la inyección de una muestra para que el pico del compuesto alcance el detector.
Variabilidad genética	Las variaciones heredables que ocurren en cada organismo, entre los individuos de una población y entre las poblaciones dentro de una especie.