



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FITOQUÍMICA Y POTENCIAL PRODUCTIVO DE GENOTIPOS DE AGUACATE DE PORTE BAJO

Proyecto de tesis que presenta:

Ing. Itzia Eréndira Solorzano Martínez

Como requisito parcial para el grado de

Maestra en Ciencias Biológicas

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Héctor Guillén Andrade

Uruapan, Michoacán, Marzo 2024



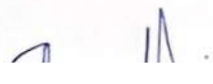
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

El presente documento es producto del trabajo original de investigación de **Itzia Eréndira Solorzano Martinez**, estudiante del Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas y respetando siempre los más altos estándares éticos solicitados por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Todos los datos de la investigación reportada en el presente documento de tesis (excepto los indicados explícitamente en el texto), fueron obtenidos por **Itzia Eréndira Solorzano Martinez** durante el periodo que fue estudiante de la Maestría en Ciencias Biológicas, bajo la Dirección del **Dr. Héctor Guillén Andrade**.

Uruapan, Mich., a 26 de febrero de 2024



Ing. Itzia Eréndira Solorzano Martinez
ESTUDIANTE



Dr. Héctor Guillén Andrade
DIRECTOR

Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, UMSNH

DEDICATORIAS

A Dios por la providencia de su amor, ese amor indescriptible pero presente por la sabiduría para poder culminar esta etapa de mi vida por mi familia, amigos y profesores que me han conducido por un buen camino.

A mi familia, mi madre Magdalena, por todo el apoyo brindado durante toda mi vida, por el amor con el que día a día te esmeras por darme, gracias por enseñarme el valor del trabajo y esfuerzo para lograr mis sueños. A mi padre José, gracias por ayudarme a darme cuenta de mi capacidad de ser mejor, de luchar por mis sueños, por el valor de entender que siempre se puede aun en los momentos difíciles. A mis hermanas Yaz, Griz y Esme por su amor y por su apoyo no solo en esta etapa de mi vida sino durante toda mi vida, gracias por cuidar de mí.

A mis sobrinos Emmanuel, Miguel, Lupita y Arleth por su sonrisa y abrazos que me motivan cada día.

A mi tío Javier Martínez, gracias por todos sus consejos, por ser como un padre para mí, por su apoyo durante toda mi vida, gracias por ser mi motivación en la vida, por el ejemplo de trabajo, constancia y honestidad, pero sobre todo gracias por su ejemplo de amor hacia lo verdaderamente importante como la familia y por el valor de compartir con los demás.

AGRADECIMIENTOS

A la UMSNH, Facultad de Agrobiología, al CONAHCyT, por el apoyo de la beca otorgada, al UIAA-LAREFI como también al IIES-UNAM campus Morelia por permitirme el uso de las instalaciones para desarrollo de mi trabajo de investigación.

A mi asesor, Dr. Héctor Guillén Andrade, por darme la oportunidad de ser parte de su equipo de trabajo por el conocimiento adquirido durante este periodo, por sus consejos escolares y de vida, por enseñarme el valor de la constancia para lograr mis objetivos.

A la Dra. Ana Karen Escalera Ordaz, por todo el apoyo brindado, por compartir su conocimiento por la paciencia, y sus consejos durante este proceso.

A mi comité sinodal; Dra. Berenice Yahuaca Juárez, Dr. Rafael Salgado Garciglia, Dr. Luis Mario Tapia Vargas por el tiempo, la dedicación y las aportaciones al presente trabajo de investigación.

A la M.C. Yolanda García Rodríguez y al Dr. Francisco Espinoza García por sus conocimientos transmitidos, su tiempo y por permitirme el uso de las instalaciones para poder culminar mi proyecto.

A la M.C. Elizabeth Martinez y M.C. Angelica C. gracias por compartir sus conocimientos, y amistad conmigo durante esta etapa.

Al Dr. Pedro A. López, por compartir sus conocimientos para realizar los análisis estadísticos de presente trabajo.

A Francisco T.R gracias, por todo tu apoyo durante esta etapa de mi vida por tu amor, por cada palabra de ánimo, por bríndame la dicha de tu compañía en esta vida. A mis amigos: P. Esaú, Mayra, Froy, Ramon, Magy, Brenda, Nayeli y Román por todo el apoyo brindado por cada consejo y palabra nos solo en esta etapa sino durante mi vida.

A todos los integrantes del LAFERI por su apoyo y por compartir conmigo tantas risas por cada palabra de ánimo brindan: Kary, Mariam, Lulis, Misa, Paco, Alan, Yuno, Erandi, Jimena, Rafa, Sofí, César, Migue, Michel, Alondra, Alberto, Irán, Esteban, Roberto, Carlos, Yaz, Miranda y Jesús.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
I. RESUMEN.....	1
II. SUMMARY.....	2
III. INTRODUCCIÓN.....	3
IV. HIPÓTESIS.....	11
V. OBJETIVO GENERAL.....	12
5.1. Objetivos específicos.....	12
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
6.1. Área de estudio.....	13
6.2. Material genético y su recolecta.....	13
6.3. Caracterización de las variantes de aguacatero de porte bajo.....	13
6.3.1. Caracterización morfológica.....	14
6.3.2. Determinación del contenido de metabolitos secundarios (MS)	15
6.3.2.1. Extracción de volátiles foliares.....	16
6.3.2.2. Extracción de volátiles florales.....	16
6.3.2.3. Identificación y cuantificación de MS.....	17
6.3.3. Evaluación de productividad.....	18
6.4. Análisis de la información.....	18
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
7.1. Fenotipos del aguacatero.....	20
7.2. Fenotipos químicos.....	24
7.2.1. Fenotipos químicos foliares.....	24

7.2.1.1. Asociación entre MS foliares.....	29
7.2.1.2. MS determinantes en tejido foliar.....	29
7.2.1.3. Similitud de genotipos de porte bajo con base en los MS foliares.....	30
7.2.2. Fenotipos químicos florales.....	31
7.2.2.1. Asociación entre MS florales.....	37
7.2.2.2. MS determinantes en tejido floral.....	37
7.2.2.3. Similitud de genotipos de porte bajo con base en los MS florales.....	39
7.3. Rendimiento de siete genotipos de aguacate de porte bajo.....	40
7.3.1. Asociación del rendimiento y características morfológicas.....	42
7.3.2. Asociación de rendimiento y contenido de MS.....	42
7.4. Análisis global de la información.....	44
7.4.1. Asociación de características morfológicas, fenotipos químicos y rendimiento	44
7.4.2. Similitud de genotipos de porte bajo, con base en características morfológicas, fenotipos químicos y rendimiento.....	44
VIII. PERSPECTIVAS Y/O RECOMENDACIONES.....	47
IX. CONCLUSIONES.....	48
X. LITERATURA CITADA.....	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Metabolitos secundarios identificados en hoja, semilla, pericarpio, mesocarpio y corteza de <i>Persea americana</i>	7
2	Actividad biológica de algunos metabolitos secundarios identificados en <i>Persea americana</i> Miller.	8
3	Descriptores usados en la caracterización de variantes de aguacate de porte bajo (IPGRI, 1995)	14
4	Coeficientes de correlación de Pearson identificados en metabolitos secundarios de tejido foliar de genotipos de porte bajo de <i>Persea americana</i> Miller.....	30
5	Componentes principales, valores propios y varianza explicada para metabolitos secundarios identificados en tejido foliar en genotipos de aguacate de porte bajo.....	30
6	Coeficientes de correlación de Pearson identificados en metabolitos secundarios de tejido floral de genotipos de porte bajo de <i>Persea americana</i> Miller.....	38
7	Componentes principales, valores propios y varianza explicada para metabolitos secundarios identificados en tejido floral en genotipos de aguacate de porte bajo.	39
8	Asociación de rendimiento con características morfológicas de genotipos de aguacate de porte bajo.	42
9	Asociación de los rendimientos 2022 y 2023 con los metabolitos secundarios identificados en tejido foliar y floral.....	43
10	Coeficientes de correlación de Pearson de las variables morfológicas, fenotipos químicos y el rendimiento de siete genotipos de aguacate de porte bajo.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Descripción de árbol, hoja, fruto y semilla de las variantes de aguacate tipo Hass F1A2, F2A3, F2A5, F3A4, F3A5, F4A7 y F7A4.....	22
2	Dendograma de similitud de siete variantes de aguacate de porte bajo, con base en 16 variables morfológicas.....	23
3	Frecuencia relativa de metabolitos secundarios identificados en tejido foliar de siete genotipos de aguacate de porte bajo. α -pineno (1), β -pineno (2), β -mirceno (3), α -felandreno (4), β -felandreno (5), eucaliptol (6), fenchona (7), linalool (8), mircenol (9), α -terpineol (10), estragol (11), anetol (12), cariofileno (13), humuleno (14), germacreno D (15), γ -selineno (16), calameneno (17), ácido mirístico (18), ácido palmítico (19), linoleato de metilo (20), fitol (21), ácido linoleico (22), linolenato de etilo (23), 2-[(8Z,11Z)-Heptadeca-8,11-dienil]furano (24), tricosano (25), 2-(7-heptadeciniloxi) tetrahidro-2H-pirano (26), ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico éster metílico (27), hexacosano (28), desconocidos (29, 30, 31).....	25
4	Presencia de metabolitos secundarios identificados en tejido foliar en los genotipos F1A2, F2A3, F2A5 y F3A4 de aguacate de porte bajo: α -pineno (1), β -pineno (2), β -mirceno (3), α -felandreno (4), β -felandreno (5), eucaliptol (6), fenchona (7), linalool (8), mircenol (9), α -terpineol (10), estragol (11), anetol (12), cariofileno (13), humuleno (14), germacreno D (15), γ -selineno(16), calameneno (17), ácido mirístico (18), ácido palmítico (19), linoleato de metilo (20), fitol (21), ácido linoleico (22), linolenato de etilo (23), 2-[(8Z,11Z)-heptadeca-8,11-dienil]furano (24), tricosano (25), 2-(7-heptadeciniloxi) tetrahidro-2H-pirano (26), ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico éster metílico (27), hexacosano (28), desconocidos (29, 30, 31).....	27
5	Presencia de metabolitos secundarios identificados en tejido foliar en los genotipos F3A5, F4A7 y F7A4 de aguacate de porte bajo.....	28
6	Dendograma de similitud de siete genotipos de <i>Persea americana</i> Miller de porte bajo con base en la concentración de 22 MS identificados en el tejido foliar.....	31
7	Frecuencia relativa de metabolitos secundarios identificados en el tejido floral de siete genotipos de aguacate de porte bajo. Hexanal (1), 2,4-dimetil-1-hepteno (2), E-2-hexena (3), etilbencino (4), α -pineno (5), isocumeno (6), benceno, 1-etil-4-metil (7), β -pineno (8), heptano, 2,2,4,6,6-pentametil (9),	

	pseudocumol (10), decano (11), 1-heptanol, 2,4-dimetil (12), P-cimeno (13), D-limoneno (14), eucaliptol (15), indeno(16) 7-octen-2-ol, 2,6-dimetil (17), undeceno (18), nonanal (19), isoforona (20), naftaleno (21), dodecano (22), decanal (23), benzotiazol (24), tridecano (25), ácido propanoico (26), 2-metil-,2,2-dimetil-1-(2-hidroxi-1-metiletil)propil éster (27), ácido 2-metilpropanoico (28), α -copaeno (29), tetradecano (30), cariofileno (31), humuleno (31), naftaleno, decahidro-1,4 α -dimetil-7-(1-metiletenilo), (32), pentadecano (33), α -farneseno (34), 2,4-di-t-butilfenol (35), 3-hidroxi-5,6-epoxi- β -ionona (36), hexadecano (37), heptadecano, 2(Z),6(Z)-Farnesol (38), 1-butenol, 1,3-difenil (39), octadecano (40) y ácido n-hexadecanoico (41).....	34
8	Presencia de metabolitos secundarios identificados en el tejido floral en los genotipos F1A2, F2A3, F2A5 y F3A4 de aguacate de porte bajo: hexanal (1), 2,4-dimetil-1-hepteno (2), E-2-hexanal (3), etilbencino (4), α -pineno (5), isocumeno (6), benceno, 1-etil-4-metil (7), β -pineno (8), heptano, 2,2,4,6,6-pentametil (9), pseudocumol (10), decano (11), 1-heptanol, 2,4-dimetil (12), P-cimeno (13), D-limoneno (14), eucaliptol (15), indeno (16) 7-octen-2-ol, 2,6-dimetil (17), undeceno (18), nonanal (19), isoforona (20), naftaleno (21), dodecano (22), decanal (23), benzotiazol (24), tridecano (25), ácido propanoico (26), 2-metil-,2,2-dimetil-1-(2-hidroxi-1-metiletil) propil éster (27), ácido 2-metilpropanoico (28), α -copaeno (29), tetradecano (30), cariofileno (31), humuleno (31), naftaleno, decahidro-1,4 α -dimetil-7-(1-metiletenilo) (32), pentadecano (33), α -farneseno (34), 2,4-di-t-butilfenol (35), 3-hidroxi-5,6-epoxi- β -ionona (36), hexadecano (37), heptadecano, 2(Z),6(Z)-Farnesol (38), 1-butenol, 1,3-difenil (39), octadecano (40) y ácido n-hexadecanoico (41).....	35
9	Presencia de metabolitos secundarios identificados en el tejido floral de los genotipos F3A5, F4A7 y F7A4 de aguacate de porte bajo.....	36
10	Dendograma de similitud de siete genotipos de <i>Persea americana</i> Miller de porte bajo con base en la concentración de 30 MS identificados en el tejido floral.....	40
11	Rendimiento promedio 2022-2023 de siete genotipos de <i>Persea americana</i> Miller de porte bajo establecidos en el banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología.....	41
12	Dendograma de similitud generado con base en 46 variables de las características morfológicas, fenotipos químicos y rendimiento de siete genotipos de aguacate de porte bajo.....	46

I. RESUMEN

México cuenta con amplia diversidad climática que favorece la variabilidad de *Persea americana*, esto es de gran importancia en programas de mejoramiento genético donde se busca solucionar problemas fitosanitarios, de productividad y de adaptabilidad a diferentes factores. En el género *Persea* se ha generado información sobre las características fenotípicas, agroecológicas y genotípicas de diferentes variantes. Sin embargo, es importante conocer y estudiar los perfiles químicos de las plantas, puesto que desempeñan diferentes estrategias de defensa contra factores bióticos y abióticos. Por lo tanto, en el presente trabajo de investigación se identificaron perfiles químicos de variantes de aguacate de porte bajo en tejido foliar y floral para su conservación y explotación comercial. El material genético consistió en siete genotipos de aguacate de porte bajo, la caracterización se hizo con base en los descriptores propuestos por el IPGRI, los procedimientos para la identificación y cuantificación de metabolitos secundarios (MS) del tejido foliar consistió en macerar tejido agregándole hexano como disolvente, (Na_2SO_4) y estándar interno, posteriormente se concentró con N_2 , para su posterior análisis. Para los MS florales, se utilizaron dos técnicas las cuales fueron: *headspace* estático y *headspace* dinámico. Los resultados obtenidos indicaron una amplia variabilidad en el tipo y concentración de MS presentes en tejido foliar y floral de siete genotipos de porte bajo de *Persea americana*. En total fueron identificados 72 MS (31 en tejido foliar y 41 en tejido floral), de los cuales 20 no han sido reportados para esta especie. Estos nuevos MS son identificados como compuestos aromáticos, aldehídos, monoterpenos y sesquiterpenos, todos ellos con actividad biológica de importancia en los procesos de polinización y defensa de las plantas ya que actúan como atrayentes, antibacterianos, antifúngicos, alelopáticos y citotóxicos.

Palabras clave: metabolitos secundarios, MS foliares, MS florales, aguacates porte bajo, rendimientos aguacate.

II. SUMMARY

Mexico has a wide climatic diversity that favors the variability of *Persea Americana*. This is of great importance in genetic improvement programs that seek to solve phytosanitary, productivity and adaptability problems to different factors. In the *Persea* genus, information about the phenotypic, agroecological and genotypic characteristics of different variants has been generated. However, it is important to know and study the chemical profiles of plants, since they carry out different defense strategies against biotic and abiotic factors. Therefore, in the present research work, leaf and floral chemical profiles of low-growing avocado variants were identified for their conservation and commercial exploitation. The genetic material consisted of seven genotypes, the characterization was done based on the descriptors proposed by the IPGRI, the procedures for the identification and quantification of secondary metabolites (SM) of leaf tissue consisted of macerating tissue adding hexane as solvent, (Na₂ SO₄) and an internal standard; subsequently concentrated with N₂, for future analysis. For the floral SM, two techniques were used which were static headspace and dynamic headspace. The results obtained indicated a wide variability in the type and concentration of SM present in leaf and floral tissue of seven low-growing avocado genotypes. In total, 72 SM were identified (31 in leaf tissue and 41 in floral tissue), of which 20 have not been reported for this species. These new SM are identified as aromatic compounds, aldehydes, monoterpenes and sesquiterpenes, all of them with important biological activity in pollination and defense plant processes since they act as attractants, antibacterial, antifungal, allelopathic and cytotoxic.

Keywords: secondary metabolites, foliar SM, floral SM, low-growing avocados, avocado yields.

III. INTRODUCCIÓN

El cultivo del aguacate se ha incrementado de manera notable en México en los últimos años, esto se debe a la preferencia del fruto ante los consumidores, elevando la oferta y la demanda a nivel mundial. Este país es considerado el principal exportador de aguacate, con el 42.8 % a nivel mundial generando una derrama económica de 2, 392 millones de dólares (ITC-Trade Map, 2022). Durante el año 2023 se reportó una superficie sembrada de 257, 570.63 ha con una producción de 2, 652, 500.57 t y un rendimiento promedio de 10.77 t ha⁻¹. Los estados que destacan por su producción son: Michoacán con 19,933, 324.50 t, seguido por Jalisco con 322, 837.24 t y Nayarit con 76, 587.28 t (SIAP, 2023). Adicionalmente, esta especie posee propiedades nutrimentales: aporta altas cantidades de fibra, proteína, minerales y un alto contenido de ácidos grasos insaturados (Reddy *et al.*, 2012), así como compuestos antioxidantes entre los que destacan la vitamina E, luteína y carotenoides (Dreher y Davenport, 2013), además de incrementar su importancia en la industria cosmética farmacéutica (Whiley *et al.*, 1988). Esta especie es originaria de México y América Central, se data que por los años 7,000 - 8,000 a.C., fue encontrada evidencia de su consumo en una cueva ubicada en Coxcatlán, región de Tehuacán Puebla, México (Smith, 1966). Además, algunos arqueólogos han reportado fósiles de aguacate como ejemplares de *Persea americana* variedad *drymifolia* (raza mexicana) (Bernal y Días, 2008), *Persea americana* variedad *americana* (raza antillana) y *Persea americana* variedad *guatemalensis* (raza guatemalteca), lo que sugiere que las culturas antiguas contaban con un amplio conocimiento sobre el aguacate (Barrientos-Priego y López-López, 2000). Su distribución inició en el año 1600 después de la conquista de los españoles y fueron ellos quienes llevaron el aguacate a España y a gran parte del mundo. Desde su centro de origen, el aguacate se dispersó hacia Norteamérica, Las Antillas, Centroamérica y gran parte de Sudamérica (Sánchez-Pérez, 1999). México, por su parte, es considerado uno de los países con mayor riqueza en disponibilidad de *Persea*, debido principalmente a las diferentes condiciones ambientales y microclimas con los que cuenta. El aguacate es una especie de polinización cruzada, con alta capacidad de variabilidad genética que ha evolucionado a través de miles de años de selección y domesticación, favoreciendo la diversidad en la razas y grupos morfológicos adaptados a distintos ambientes (Cabezas *et al.*, 2003). Una amplia diversidad de germoplasma permite el desarrollo de nuevas variedades para remediar los problemas actuales con distintas enfermedades, rendimiento, calidad del fruto (Barrientos-Priego y López-López, 2002) y el gran

tamaño de los árboles, mismo que resulta no deseable porque dificulta las prácticas de manejo, de protección fitosanitaria y de cosecha, lo cual se refleja negativamente en los costos de producción (Loza-Hernández, 2015).

En el estado de Michoacán, México, la riqueza de condiciones agroclimáticas permitió el establecimiento y adaptación de huertas de aguacate con las tres diferentes razas; no obstante, para el año 1958 ya se tenían registradas 923 hectáreas de aguacate tipo criollo (Alfonso, 2008), considerado de importancia como fuente única de genes y utilizado como portainjerto e interinjerto en busca del incremento de la calidad y el rendimiento (Ayala-Arreola *et al.*, 2010). Las primeras variedades introducidas fueron Fuerte, Bacon y Zutano (Alfonso, 2008); sin embargo, en el año 1964 las variedades criollas y Fuerte iniciaron a desplazarse por la variedad Hass obteniendo una notable expansión al ser considerada como la de mayor importancia comercial (Sorce *et al.*, 2002).

El aguacate es una especie frutal que llega a medir hasta 20 metros en su hábitat natural; sin embargo, cuando es cultivado comercialmente, el crecimiento es un rasgo de fundamental importancia en los huertos frutícolas, en donde las expresiones del crecimiento vigoroso dependen de factores como el genotipo de la planta, ambiente y prácticas agronómicas (Sorce *et al.*, 2002; Morales *et al.*, 2008). Los frutales en general tienden a ser altos y esta característica depende de la especie, pero existen excepciones donde los árboles son de porte bajo o enanos. Estos últimos términos, son utilizados para describir árboles que no alcanzan la altura normal, esto puede ser ocasionado por la exposición a medios artificiales, selección de genotipos enanos, procedimientos de poda o mediante injertos sobre porta injertos enanos (Dineshkumar *et al.*, 2002). En el cultivo del aguacate existen reportes de dos tipos de enanismo; uno con pérdidas de dominancia apical y, crecimiento lateral de ramas, que genera un crecimiento corto y difuso en plantas de aguacate, lo que favorece que las ramas tiendan a crecer de forma horizontal (Barrientos-Pérez y Sánchez-Colín, 1992). El segundo tipo, conocido como braquitismo (Berh y Whitsell, 1962) es en el que la planta enana presenta crecimiento compacto y entrenudos cortos, estas características son de interés ya que influyen en la determinación de la altura final de la planta. De acuerdo con Garrido-Torres, (2016), las plantas de aguacate de porte bajo presentan mayor número de entrenudos (75-106) y menor longitud de entrenudos (8-15 cm) en comparación con las plantas de porte alto. Hasta la fecha son escasos los reportes sobre germoplasma adecuado para producir variedades y portainjertos enanos como; manzano (Wang

et al., 2011), cerezo (Charlot *et al.*, 2005; Morghadam y Shabani, 2014), ciruela japonesa (Janes y Pae, 2003), pera (Wang *et al.*, 2011) y aguacate (Barrientos-Priego *et al.*, 1992). También, existen estudios en los cuales se han relacionado ciertos genes con el crecimiento compacto de las plantas, tal es el caso del gen *At5g48010*, que participa en la síntesis del triterpeno talianol, el cual en altas concentraciones conduce a un enanismo severo en *Arabidopsis*. De igual manera, las plantas que acumulan niveles elevados de este MS presentaron raíces significativamente más largas que el tipo salvaje, lo que sugiere efectos distintos y específicos en el crecimiento de las plantas (Field y Osbourn, 2008; Liu *et al.*, 2020). Sin embargo, es importante resaltar que en la actualidad no hay reportes de un gen o grupo de genes de braquitismo identificados en aguacate (Vargas, 2022). Por lo anterior, la selección de un genotipo de porte bajo o enano con base en una característica genética, fisiológica, o anatómica podría ser de gran valor (Bruncker y De Jong, 2014), este tipo de árboles son apropiados para el manejo intensivo y sistemas de producción en altas densidades (Wang *et al.*, 2011), para reducir costos de producción (Barrientos-Priego *et al.*, 1992), así como el uso inadecuado de superficies forestales y silvopastoriles.

Las plantas, incluyendo el aguacate, son organismos sésiles que a través del tiempo han ido evolucionando al generar diversas estrategias de defensa contra los daños provocados por estrés biótico y abiótico. En este sentido se distinguen dos tipos; las constitutivas y las inducidas. Las primeras se refieren a la formación de estructuras visuales y físicas como espinas, cortezas gruesas, fibra y tricomas que pueden contener compuestos químicos como la lignina o resina (Anaya-Lang y Espinosa-García, 2006). Las inducidas activan la producción de diferentes compuestos químicos; entre otros, los metabolitos secundarios (MS), en los diferentes órganos vegetales para la defensa después de un ataque por herbívoros, patógenos o parásitos, los compuestos producidos pueden presentar actividad biológica antimicrobiana, antibacteriana, antifúngica, insecticida, larvicida, repelente, antioxidante, citotóxica y alelopática (Anaya-Lang y Espinosa-García, 2006). Existen especies de plantas que han sido más estudiadas debido a la importancia económica que generan, tal es el caso de *P. americana*, en donde los metabolitos secundarios reportados son principalmente foliares, además de compuestos específicos como las persinas (Carman *et al.*, 2000; Fraga y Terrero, 1996). Es de destacar que los MS identificados en los diferentes tejidos les confieren cualidades distintas, como son los terpenos que se han detectado en tejido foliar con actividades de defensa principalmente; mientras que

en el tejido floral tienen función como atrayentes que envían señales químicas que permiten localizar fuentes de alimento, hábitats y sitios de oviposición (Ali *et al.*, 2020; Campuzano-Granados y Cruz-López, 2021). Existen diferentes métodos para identificar y cuantificar el contenido de MS; sin embargo, no todas las técnicas analíticas son aplicables en todos los casos (García, 2004). Algunos de los métodos para la identificación y cuantificación de metabolitos secundarios son: colorimetría (Machado *et al.*, 2007), procedimientos gravimétricos (Mena-Linare *et al.*, 2016), por inhibición enzimática (Libra y Jasso, 2013) y, diferentes procedimientos de cromatografía: cromatografía de gases (Ashihara *et al.*, 20011; Bonny *et al.*, 2009; Falk *et al.*, 2008), cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas (Maldini *et al.*, 2009), cromatografía líquida acoplada a espectrofotometría de masas (Falk *et al.*, 2008) y cromatografía líquida de alta resolución conocida como HPLC (Ashihara *et al.*, 2011 ; Falk *et al.*, 2008).

Los MS presentan una distribución restringida en el reino vegetal; es decir, no se encuentran en todos los grupos de plantas y se sintetizan en pequeñas cantidades (Avalos-García y Pérez-Urruela, 2009). En el género *Persea* se han reportado 363 MS identificados en diferentes tejidos de *P. americana*, los cuales han sido identificados con diferente actividad biológica: antimicrobiana, antibacteriana, antifúngica, repelente, antioxidante, atrayente, citotóxica, genotóxica, antiparasítica y tóxicas, estos compuestos funcionan como señal de variación genética o como marcadores asociados a la resistencia a plagas y patógenos (Torres-Gurrola, 2016). En el Cuadro 1, se presentan los metabolitos secundarios que han sido identificados en diferentes tejidos vegetales en *Persea americana* y, en el Cuadro 2, la actividad biológica de los MS reportados en esta misma especie.

Es importante el conocimiento de la fitoquímica de las variedades comerciales del aguacatero en función de la productividad de estos. La productividad del cultivo del aguacatero depende de múltiples factores, como el manejo del suelo, prácticas culturales, control de plagas y enfermedades, además de las condiciones ambientales (Dong *et al.*, 2010). Con la finalidad de incrementar rendimiento y calidad de fruto se buscan variedades con una mejor adaptación a determinadas zonas geográficas, como las siguientes: Hass, Fuerte, Carmen, Lamb Hass y Jiménez (Sánchez *et al.*, 2013). Sin embargo, se requiere implementar programas de trabajo fitosanitario, poda y nutrición vegetal que favorezcan el buen desarrollo del cultivo para

garantizar el incremento de producción, la prolongación de los periodos de cosecha, calidad de frutos, así como la disminución de incidencia de plagas y enfermedades (Ochoa y Ortega, 2002).

Cuadro 1. Metabolitos secundarios identificados en hoja, semilla, pericarpio, mesocarpio y corteza de *Persea americana*.

Tejido Vegetal	Metabolitos Secundarios	Referencias
Hoja	55 terpenos, 3 compuestos aromáticos, 11 fenoles, 1 furano, 6 flavonas, 4 ésteres, 2 aldehídos, 1 cetona, 6 alcoholes y 17 alcanos.	(Carman <i>et al.</i> , 2000; Liu <i>et al.</i> , 2002; Ogunbinu <i>et al.</i> , 2007; Torres-Gurrola <i>et al.</i> , 2016; Guillén-Andrade <i>et al.</i> , 2019).
Semilla	1 fenol, 3 flavonas, 1 leucoantocianidina, 8 alcoholes y 2 ácidos.	(Ramos <i>et al.</i> , 2004; Abe <i>et al.</i> , 2005; Torres-Gurrola <i>et al.</i> , 2016).
Pericarpio	1 leucoantocianidina, 3 flavonas, 2 fenoles y 4 alcoholes.	(Oberlies <i>et al.</i> , 1998; Liu <i>et al.</i> , 2002; Torres-Gurrola <i>et al.</i> , 2016).
Mesocarpio	36 terpenos, 6 compuestos aromáticos, 3 fenoles, 9 furanos, 5 flavonas, 1 leucoantocianidina, 2 ácidos, 9 ésteres, 17 aldehídos, 6 cetonas, 11 alcoholes, 1 triglicerido, 5 alcanos.	(Kim <i>et al.</i> , 2000; Kawagishi <i>et al.</i> , 2001; Liu <i>et al.</i> , 2002; Torres-Gurrola <i>et al.</i> , 2016).
Corteza	1 éster.	(Liu <i>et al.</i> , 2002; Torres-Gurrola <i>et al.</i> , 2016).
Flor	2 azúcares	(Torres-Gurrola <i>et al.</i> , 2016).

Los factores ambientales influyen en todos los aspectos del crecimiento del aguacate y determinan la magnitud con la que se expresa su potencial genotípico (Schaffer y Whiley, 2007). Estos factores podrían ser una limitante para lograr el buen desarrollo de todas las etapas del cultivo. Algunos de los factores con mayor importancia que pueden considerarse son: la ubicación geográfica, las condiciones climáticas y los suelos ricos en nutrientes, lo anterior permite el éxito de la productividad del cultivo (Dane, 2016). La respuesta favorable a diferentes condiciones ambientales indica la adaptabilidad de la especie a una amplia gama de climas y tipo de suelo.

Cuadro 2. Actividad biológica de algunos metabolitos secundarios identificados en *Persea americana* Miller.

MS	Actividad biológica reportada	Referencia
β -pineno	El α -pineno se ha reportado con actividad, bactericida, fungicida, larvicida, repelente, atrayente, insecticida, antioxidante, antiinflamatoria, antiparasitaria y anticonvulsiva.	(Torres-Gurrola <i>et al.</i> , 2016).
Eucalipto	Compuesto tóxico para bacterias, hongos, patógenos del suelo e insectos.	(Reyes <i>et al.</i> , 2007).
β -cis-ocimeno	Presenta propiedades alelopáticas, antibacterianas, antioxidantes, nematicida y antifúngicas.	(Fernández <i>et al.</i> , 2021).
Estragol	Este compuesto se ha reportado con actividad antifúngica, larvicida y genotóxica.	(Torres-Gurrola <i>et al.</i> , 2009)
Tridecano	Compuesto defensivo en <i>Loxa deducta</i> y <i>Pellaea stictica</i> .	(Fávaro y Zarbin, 2012).
Mirceno	Identificado con actividad antimicrobial y antioxidante, además se le atribuyen efectos anticonvulsivos.	(Rosilene <i>et al.</i> , 2008; Cano-Europa <i>et al.</i> , 2010).
β -elemeno	Este metabolito secundario se encuentra dentro del grupo de los sesquiterpenos; reportados con actividad antimicrobiana, antibacteriana y antifúngica.	(Torres-Gurrola <i>et al.</i> , 2016).
Copaeno	Antioxidante y antimicrobiana.	(Montero- Recalde <i>et al.</i> , 2018).
Metil-eugenol	Componente mayoritario en aceite de <i>Ocimum sanctum</i> , con efecto larvicida.	(Acero-Godoy <i>et al.</i> , 2019).
Cariofileno	Actividad biológica bactericida además de presentar utilidad en la industria de aromatizantes, jabones, artículos de limpieza y alimentos.	(Mena y Medina, 2020).
α -humuleno	Componente con actividad inhibidora, antioxidante y antifúngica.	(Stashenko <i>et al.</i> , 2003).
Cubenol	Actividad antibacteriana frente a <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Escherichia coli</i> .	(Torres-Gurrola <i>et al.</i> , 2016).
Nerolidol-E	Identificado con actividad biológica antimicrobiana contra bacterias <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas</i> y <i>Streptococcus</i> .	((Torres-Gurrola <i>et al.</i> , 2016).
Oxido de cariofileno	Larvicida.	(Montero- Recalde <i>et al.</i> , 2018).
Chavicol	Fenol con actividad antimicrobiana, nematicida y atrayente. En bajas concentraciones estimula el crecimiento de la planta y la colonización de hongos micorrízicos arbusculares.	(Torres-Gurrola <i>et al.</i> , 2016).

Los requerimientos pluviales varían para cada raza, por ejemplo: la precipitación media anual óptima para el desarrollo de la raza antillana es de 1100 a 3350 mm, de 800 a 3400 mm para la

guatemalteca y de 650 a 2200 mm para la mexicana (Loza-Hernández, 2015). Sin embargo, es recomendable dar riegos ligeros en las etapas de floración y amarre del fruto (Wolstenholme, 2007). La humedad ambiental influye en la calidad del fruto y en la sanidad de la parte aérea del árbol: la humedad elevada induce la proliferación de enfermedades en las hojas, tallos y frutos. La humedad ambiental óptima es aquella que no supera el 60 % (Gutiérrez-Contreras *et al.*, 2010). Las temperaturas óptimas reportadas para la variedad Hass, son de 18 a 20 °C ya que las altas temperaturas pueden ser perjudiciales en periodos críticos de polinización y cuajado de frutos (Schaffer y Whiley, 2007; Wolstenholme, 2007; Guillén-Andrade *et al.*, 2007). Este cultivo se ha establecido de manera exitosa en diferentes tipos de suelos; la mayor superficie cultivada con aguacate es del tipo de suelo andosol (89.8 %), seguido del luvisol (3.5 %), acrisol (3.2 %), feozem (1.4 %) y litosol (1.3 %) entre otros (Gutiérrez-Contreras *et al.*, 2010). El pH recomendado es de 5 a 7 con mayores ventajas hacia el extremo inferior de este intervalo (Wolstenholme, 2007). De igual importancia el manejo adecuado para el control de plagas y enfermedades que afectan al cultivo, son dirigidas por el Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) en donde se realizan diversas actividades como el muestreo de campo para detectar si el cultivo está sufriendo algún daño por ataque de plagas y enfermedades (Téliz-Ortíz *et al.*, 2000).

Las principales enfermedades en el cultivo de aguacate son las radicales y fungosas: la enfermedad con mayor incidencia es provocada por el oomycete *Phytophthora cinnamomi* conocida como la tristeza de aguacatero, considerada una de las más devastadoras a nivel mundial (Cerna-Chávez *et al.*, 2019). La antracnosis causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, genera pérdidas antes, durante y después de la cosecha, ya que los daños se registran en flores, frutos, brotes, hojas y ramas. (Morales *et al.*, 2008). La roña, causada por el hongo *Sphaceloma perseae*, daña las hojas, tallos y frutos, puede presentarse en cualquier etapa de su desarrollo. Cuando el ataque se presenta en las hojas, estas se tornan café claro con bordes acucharados y en fruto el ataque es superficial, se caracteriza por formar manchas de color marrón (Tofiño, 2012). El anillamiento del pedúnculo causado por el hongo *Alternaria alternata* es considerada de gran importancia económica por la fuerte caída de fruto con un tamaño considerable, esta se presenta en la etapa de desarrollo del fruto, y se ha reportado la pérdida de hasta el 90 % de la producción (Santiago-Pérez, 2020).

Las plagas de mayor importancia económica son: el trips, causado por *Frankliniella* y *Scirtoehrips* al succionar la savia de brotes con su aparato picador-chupador provoca heridas en los frutos que facilitan la entrada a otros microorganismos. La araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst) es un ácaro que succiona la savia de la nervadura de la hoja, flores y frutos en formación, se presenta en épocas de secas (Cerdas-Araya *et al.*, 2014) y el barrenador (*Copturus aguacatae Kissinger*) es una plaga cuarentenaria que ataca el tronco, ramas y semillas (INIFAP, 2015).

Por otra parte, el cultivo del aguacate requiere elementos nutritivos o esenciales para cumplir su funcionamiento fisiológico y desarrollo completo del ciclo vegetativo. Por eso, es necesario proporcionar al cultivo los elementos minerales completos y balanceados, pues cumplen un papel esencial en diferentes procesos fisiológicos dentro de la planta. Los elementos esenciales son: el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); mientras que, los elementos secundarios son: calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). Aquellos elementos requeridos en menor proporción por la planta se denominan micronutrientes y son el zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), hierro (Fe), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (CL) y níquel (Ni) (Vidales *et al.*, 2007). Debido a que el establecimiento del cultivo de aguacate se ha incrementado y establecido en diferentes suelos y climas que carecen de los elementos necesarios para su desarrollo, surge la necesidad de incrementar la nutrición con fertilizantes químicos, orgánicos y foliares, ya que esta práctica es de apoyo para complementar los requerimientos o corregir deficiencias de aquellos nutrimentos que no se pueden aprovechar eficientemente. Es importante hacer análisis de suelo y foliar para determinar los elementos disponibles y así poder implementar un manejo adecuado (Tofiño, 2012).

En la actualidad, y en específico, en el cultivo del aguacate, se requiere de genotipos que puedan competir con la variedad Hass, que predomina, por sus atributos, en el mercado nacional e internacional. En la franja aguacatera del estado de Michoacán, México, a través de los años se han identificado algunos genotipos de aguacate de porte bajo que pueden ser utilizados de manera comercial pero se requiere información fitoquímica y de su potencial productivo para tener la certeza de su aceptación por el mercado de este importante frutal y, de esta manera, contribuir a la variabilidad del germoplasma que pueda ser utilizado por los productores de esta especie cultivada.

IV. HIPÓTESIS

Con base en la literatura consultada fueron planteadas las siguientes hipótesis:

- Los genotipos de aguacate de porte bajo presentan diferencias contrastantes en el perfil químico de sus órganos vegetativos y reproductivos.
- Los genotipos de aguacate de porte bajo presentan diferencias significativas en su potencial productivo.

V. OBJETIVO GENERAL

Identificar genotipos de aguacate de porte bajo que puedan ser utilizados para su explotación comercial.

5.1. Objetivos específicos

- Describir fenotípicamente al menos seis variantes de aguacate de porte bajo.
- Determinar el contenido de metabolitos secundarios presentes en órganos vegetativos y reproductivos en los genotipos de aguacate de porte bajo.
- Determinar el potencial productivo de genotipos de aguacate de porte bajo.
- Seleccionar genotipos de aguacate de porte bajo para su evaluación en diferentes áreas agroecológicas del estado de Michoacán.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Área de estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Laboratorio de Recursos Fitogenéticos (LAREFI) en las instalaciones de la Unidad de Investigaciones Avanzadas en Agrobiotecnología (UIAA) de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” (FAB), de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, ubicada en la ciudad de Uruapan, Michoacán, México. El material de estudio está establecido en el Banco de Germoplasma de la FAB localizado en Santa Rosa, Uruapan, Michoacán, México, entre las coordenadas 19° 37'64.87" Latitud Norte (LN) 102° 02'23.8" Longitud Oeste (LO). El proceso de extracción, identificación y cuantificación de metabolitos secundarios (MS) se llevó a cabo en el Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES-UNAM) de la Universidad Nacional Autónoma de México-Campus Morelia.

6.2. Material genético y su recolecta

El material genético de estudio consistió en siete variantes de aguacate de porte bajo, cada una de las variantes fueron divididas de manera visual en cuatro cuadrantes con respecto a la posición del sol. El muestreo consistió en seleccionar diez hojas, tres inflorescencias y diez frutos en madurez fisiológica por variante y por cuadrante. El material vegetativo y reproductivo fue colocado en hieleras de unicel a temperatura ambiente, previamente etiquetado para ser transportado al LAREFI, los datos morfológicos de los genotipos F2A3, F2A5, F3A4, F3A5, F4A7 y F7A4 fueron obtenidos de un trabajo previo (Martinez, 2022), con excepción del genotipo F1A2, el cual fue descrito en este trabajo. Para la evaluación fitoquímica se recolectaron dos hojas por variante, considerando la madurez y sanidad, asimismo fueron recolectadas tres inflorescencias por variante con botones florales y, se trasladaron en bolsas con hieleras para su posterior procesamiento.

6.3. Caracterización de las variantes de aguacatero de porte bajo

La caracterización fue hecha con base en los descriptores propuestos por el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI, 1995), el número de entrenudos se contabilizó visualmente y la longitud entrenudos se midió con ayuda de una cinta métrica. En el Cuadro 3, se presentan los caracteres evaluados en órganos vegetativos y reproductivos.

6.3.1. Caracterización morfológica

La caracterización morfológica del genotipo F1A2 fue hecha considerando los descriptores, información, análisis y procedimientos practicados por Martínez (2022).

Cuadro 3. Descriptores usados en la caracterización de variantes de aguacate de porte bajo (IPGRI, 1995).

TIPO DE ÓRGANO		CARACTERES	
Órganos vegetativos (26)		Cualitativos	Cuantitativos
Árbol (12)	• Vigor • Forma • Superficie del tronco • Patrón de ramificación • Distribución de las ramas • Ángulo de inserción de las ramas principales • Superficie de la rama joven • Color de la rama joven • Color de las lenticelas del vástago		• Ancho • Alto • Circunferencia del árbol
Hoja (14)	• Forma de la hoja • Forma de base de la hoja • Pubescencia de la superficie inferior • Superior de la hoja • Color de las hojas maduras • Ángulo de inserción del peciolo foliar • Margen de la hoja • Relieve de la venación en la superficie del haz • Divergencia de las venas primarias respecto a la vena principal • Forma del ápice de la hoja, textura, olor a anís.		• Longitud de la hoja • Número de venas
Órganos reproductivos (62)			
Inflorescencia (15)	• Época y duración de floración • Posición de la inflorescencia • Tipo de floración • Color de la floración • Pubescencia del pétalo y del sépalo • Estilo de la flor • Ausencia/presencia de polen • Ausencia/presencia de base de nectarios		• Número de flores por inflorescencia • Número de ramificaciones por inflorescencia • Longitud del eje principal • Longitud del pedicelo • Longitud del pétalo • Longitud del sépalo

TIPO DE ÓRGANO	CARACTERES	
Órganos reproductivos (62)	Cualitativos	Cuantitativos
Fruto (34)	• Forma del fruto • Forma de la base del fruto • Posición y forma del ápice • Brillantez de la cáscara • Posición del pedicelo • Pedicelo con forma de “cabeza de clavo” • Forma del pedicelo • Color pedicelo • Distinción de la unión del pedicelo con el pedúnculo • Superficie de la cáscara • Tamaño de las lenticelas • Densidad de las lenticelas • Flexibilidad de la cáscara • Adherencia de la cáscara a la pulpa • Grado de coloración de la fruta abierta • Color de la cáscara • Color de la pulpa cercana a la cáscara • Color de la pulpa cercana a la semilla • Textura de la pulpa, dulzura, amargor, fibra y sabor de la pulpa	• Longitud fruto • Diámetro del fruto • Longitud • Diámetro del pedúnculo • Longitud del pedicelo • Grosor de la cáscara • Peso del fruto
Semilla (13)	• Forma de la semilla • Superficie del cotiledón • Adherencia de los cotiledones • Cubierta, posición de la semilla • Espacio libre de la cavidad • Color del cotiledón	• Peso • Longitud • Diámetro • Diámetro de la cavidad • Longitud de la cavidad • Posición del eje embrionario

6.3.2. Determinación del contenido de metabolitos secundarios (MS)

Para determinar el perfil fitoquímico de tejidos de órganos vegetativos y reproductivos de las variantes a evaluar, se utilizaron procedimientos con base en los descritos por Torres-Gurrola *et al.* (2009); Guillén-Andrade *et al.* (2019) y Campuzano-Granados *et al.* (2021).

6.3.2.1. Extracción de volátiles foliares

Para determinar el adecuado procedimiento de extracción de los metabolitos secundarios a partir de órganos vegetativos, se hicieron pruebas preliminares: el primer procedimiento consistió en someter el tejido foliar a un proceso de liofilización con una presión de vacío de 0.10 mBar y temperatura de -50 °C durante 72 horas, mediante el empleo de un liofilizador (Labconco®). Posteriormente, las muestras liofilizadas fueron pulverizadas hasta obtener un polvo fino con ayuda de un molino eléctrico de acero inoxidable (Krupps®). Finalmente, el tejido liofilizado fue almacenado en tubos de polipropileno a una temperatura de -20 °C hasta su utilización.

Para la extracción de volátiles foliares se colocó 1.0 g de cada muestra de tejido dentro de un tubo eppendorf de 2.0 mL, además se agregó 1.0 mL de solución de tetradecano y hexano (0.125 mg mL⁻¹). Después, la muestra se mezcló con un vórtex y fue centrifugada durante diez minutos a 10.000 rpm. Por último, el sobrenadante fue recuperado con el empleo de una micropipeta para ser almacenado en un frasco ámbar a -4 °C, hasta su análisis (Torres-Gurrola *et al.*, 2009; Guillén-Andrade *et al.*, 2019). El segundo procedimiento consistió en macerar tejido foliar de cada uno de los genotipos agregando hexano como disolvente y 1.0 mL de estándar interno. Posteriormente, el sobrenadante fue filtrado con papel filtro (Whatman, número cuatro de 18.5 cm de diámetro) en un embudo de vidrio y 1.0 g de sulfato de sodio anhidro (Na₂ SO₄). Posteriormente, se procedió a colocar el sobrenadante en un tubo falcón de 20.0 mL y se concentró con N₂ hasta obtener un volumen final de 5.0 mL, al final la muestra fue almacenada en un frasco ámbar a -4 °C, para su posterior análisis.

6.3.2.2. Extracción de volátiles florales

Con el propósito de identificar el procedimiento adecuado para la obtención de volátiles florales en aguacate se probaron dos técnicas de extracción diferentes: *headspace* estático y *headspace* dinámico. La primera se llevó a cabo empleando una fibra de polidimetilsiloxano /divinilbenceno (PDMS/DVB), el tejido floral se depositó en un vial de vidrio de 2.0 mL de capacidad, cada uno de los frascos fueron sellados con tapas de aluminio septa agilent. En esta técnica las muestras permanecieron estáticas, sin flujo de aire durante 3 horas (Campuzano-Granados *et al.*, 2021). La segunda técnica tiene por principio la utilización de un cartucho comercial (ORBO 1103 PORAPAK Supelco), el cual es un tubo de vidrio que contiene en su

interior un polímero poroso adsorbente. Este se conectó a un sistema de vacío con un flujo de 60 mL seg⁻¹ durante 18 horas. Posteriormente, para extraer los compuestos capturados, se recuperó el polímero adsorbente en un tubo eppendorf de 1.5 mL agregándole 1.0 mL de solución de estándar interno (tetradecano) disuelto en hexano al 0.125 mg mL⁻¹. Cada tubo se agitó en un vórtex y se centrifugó a 10.000 rpm durante 10 minutos. Por último, se recuperó el sobrenadante con una pipeta y se almacenó en un frasco ámbar a -4 °C para su posterior análisis (Campuzano-Granados y Cruz López, 2021).

6.3.2.3. Identificación y cuantificación de MS

Los volátiles foliares y florales fueron cuantificados con un cromatógrafo de gases Agilent (HP6890) acoplado a un detector de masas (HP5973). Las muestras se inyectaron en una columna capilar no polar HP5MS (25 m x 25 mm x 25 µM), usando helio como gas acarreador con un flujo de 1.0 mL min⁻¹. Las inyecciones para volátiles foliares fueron con inyección dividida (60:1) de 3 µL a 250 °C. La temperatura inicial fue de 50 °C, con un incremento de 20 °C min⁻¹ para llegar a 200 °C, seguida de otro incremento de 15 °C min⁻¹ hasta llegar a 300 °C. Por otra parte, para volátiles florales fueron inyectados 4 µL a 250 °C. La temperatura inicial del horno fue de 40 °C durante 3 minutos, seguida de un incremento de 10 °C min⁻¹ hasta llegar a 250 °C durante 5 minutos. El espectrofotómetro de masas para volátiles foliares y florales se operó a una velocidad de flujo de 1.0 mL min⁻¹, con un voltaje de ionización a 70.0 V, a una temperatura de la interfase de 250 °C, en modo SCAN con un rango de masas de 50-500 m/z. La identificación de los MS fue hecha por comparación de los espectros de masas de los compuestos obtenidos con los incluidos en la biblioteca NIST11 (*National Institute of Standards and Technology*), los compuestos con el 90 % de confiabilidad fueron considerados en este estudio. Para validar la identificación de los MS se utilizaron los índices Kovats:

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

Donde:

TR_n = tiempo de retención del hidrocarburo que eluye antes del compuesto desconocido

TRN = tiempo de retención del hidrocarburo que eluye después del compuesto desconocido

n = número de carbonos del compuesto eluido antes que el compuesto desconocido

z = diferencia de átomos de carbono entre ambos hidrocarburos.

La concentración de cada compuesto se cuantificó con el empleo de tetradecano como control interno; el cual se utilizó en dos concentraciones: para volátiles foliares 0.5 mg ml⁻¹ y 0.125 mg ml⁻¹ para volátiles florales.

Las concentraciones relativas de los volátiles foliares y florales fueron presentadas en mg g⁻¹ de peso seco del total de la muestra, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\text{Concentración} = \frac{\text{área pico} \times 0.5 \text{ mg tetradecano}}{\text{área tetradecano}}$$

$$\text{Concentración/g hoja} = \frac{\text{concentración del compuesto (mg)}}{\text{peso de la muestra (g)}}$$

6.3.3. Evaluación de productividad

Para determinar la productividad de cada uno de los genotipos evaluados, se cuantificó el número de frutos totales por árbol con ayuda de un contador manual de cuatro dígitos marca Pretul® y, con base en el peso promedio se obtuvo la producción total en kilogramos por árbol (Gómez-López, 2000). El cálculo fue hecho con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{frutos totales por árbol} \times \text{peso promedio (g)}}{1000}$$

6.4. Análisis de la información

Con el objetivo de determinar la posible asociación entre las características morfológicas de cada genotipo, se practicó un análisis de correlación de Pearson mediante el procedimiento PROC CORR. También, se calcularon las distancias Euclidianas (DE), entre los siete genotipos y se construyó un dendograma mediante el método de agrupamiento de Ward. Para el análisis de la información fitoquímica se elaboraron dos matrices de concentración (mg g⁻¹ de hoja seca), una para tejido foliar y otra para tejido floral. Al inicio, se calculó la frecuencia relativa (FR), en Excel, con la formula descrita por (Paredes, 2008). Posterior a esto, se hizo un análisis de

correlación de Pearson mediante el procedimiento antes mencionado; en seguida, se utilizaron herramientas de estadística multivariada con las cuales se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) con el procedimiento PROC PRINCOMP, con el fin de reducir el número de MS sin perder información. De igual manera, se calcularon las DE, entre los siete genotipos y se construyó un dendograma, con base en la concentración de los MS identificados en tejido foliar y floral, mediante el método de agrupamiento de Ward. Finalmente, se hizo un análisis global de la información y se construyó una matriz con los datos de la información morfológica, del fenotipo químico y del rendimiento. Con el objetivo de determinar la posible asociación entre las variables se practicó un análisis de correlación de Pearson, se calcularon las DE y se procedió con la generación de un dendograma, mediante el método de agrupamiento de Ward. Todos los análisis estadísticos fueron hechos con ayuda del paquete estadístico SAS OnDemand for Academics (SAS Institute Inc., 2023).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Fenotipos del aguacatero

En la presente investigación se describen las características fenotípicas de siete genotipos: F1A2, F2A3, F2A5, F3A4, F3A5, F4A7 y F7A (Figura 1). Las características que se describen a continuación son altamente discriminantes de acuerdo con el IPGRI (1995).

F1A2. Este genotipo presentó una altura de 3.0 m, con forma semicircular, anchura de 2.55 m, la superficie del tronco es rugosa, el color de la rama joven es verde con superficie pubescente, la forma de la hoja predominante es lanceolada, la divergencia de las venas primarias respecto a la vena principal es aguda, la pubescencia del pétalo y sépalo son intermedias, la forma del fruto es obovado-angosto, presenta un pedicelo cilíndrico, el color de la cáscara es verde hierva (RAL 6010), con un grosor de 2.01 mm, la textura de pulpa es cremosa y la forma de la semilla obovada-ancha con superficie del cotiledón lisa.

F2A3. La copa del árbol tiene una forma semicircular, altura de 3.25 m y anchura de 3.72 m, la superficie del tronco es rugosa, el color de la rama joven es de color verde con superficie pubescente, la forma de la hoja es oblonga-lanceolada con pubescencia en la superficie inferior escasa, presenta 16 venas primarias, la divergencia de las venas primarias es aguda, la pubescencia del pétalo y sépalo son densas, la forma del fruto es obovado-angosto, la forma del pedicelo es cónico, el color de la cáscara es verde helecho (RAL 6025) con un grosor de 1.17 mm, la textura de la pulpa es acuosa y la forma de la semilla es obovada-ancha con una superficie del cotiledón intermedia.

F2A5. Este genotipo se caracteriza por presentar una copa con forma semicircular, altura de 3.30 m y 2.20 m de ancho, la superficie del tronco es rugosa, el color de la rama joven es verde con superficie pubescente, la forma de la hoja es oblonga-lanceolada, con pubescencia de la superficie escasa, tiene 15 venas primarias con divergencia aguda, la pubescencia del pétalo y sépalo es intermedia, la forma del fruto es obovado-angosto, la forma del pedicelo es cónico, el color de la cáscara es verde helecho (RAL 6025) y su grosor es de 1.50 mm, la textura de la pulpa es cremosa y la forma de la semilla es obovada-ancha con superficie del cotiledón lisa.

F3A4. Este árbol presentó forma irregular, la altura de 3.18 m y el ancho de 3.0 m, la superficie del tronco es rugosa, el color de la rama joven es verde con superficie pubescente, la forma de la hoja es oblonga-lanceolada con pubescencia de la superficie inferior escasa, el número de venas primarias es de 17, con divergencia aguda, la pubescencia de pétalo y sépalo es

intermedia, la forma del fruto es obovado-angosto y forma del pedicelo es cilíndrico, el color de la cáscara del fruto es verde helecho (RAL 6025), el grosor de la cáscara es de 1.90 mm, la textura de la pulpa es acuosa y la forma de la semilla es obovada-ancha con superficie del cotiledón lisa.

F3A5. Las características que presentó este genotipo fueron: forma de la copa semicircular, la altura de 2.11 m, el ancho de 3.31 m, la superficie del tronco rugosa, el color de la rama joven es verde y pubescente, la forma de las hojas es lanceolada, con pubescencia de la superficie inferior escasa, 15 venas primarias, con divergencia aguda, la pubescencia es intermedia en el pétalo y densa en el sépalo, la forma del fruto es obovado-angosto, el pedicelo es cilíndrico, la cáscara del fruto es de color verde helecho (RAL 6025) con un grosor de 1.90 mm, la textura de la pulpa es cremosa y la forma de la semilla es obovada-ancha con superficie del cotiledón lisa.

F4A7. El genotipo presenta una forma semicircular, la altura de 3.89 m, el ancho de 3.75 m, la superficie del tronco rugosa, el color de la rama joven es verde y es pubescente, la forma de la lámina foliar es lanceolada, con pubescencia en la superficie inferior escasa, presenta 14 venas primarias, con divergencia aguda, la pubescencia es intermedia en el pétalo y densa en el sépalo, la forma del fruto es obovado-angosto, el pedicelo es cilíndrico, la cáscara del fruto es de color verde hierba (RAL 6010) con un grosor de 1.58 mm, la textura de la pulpa es pastosa y la forma de la semilla es esferoide con superficie del cotiledón lisa.

F7A4. Este genotipo presentó una forma semicircular, la altura de 3.73 m, la anchura de 3.59 m, la superficie del tronco rugosa, rama joven de color verde con superficie pubescente, la forma de la hoja lanceolada, con pubescencia de la superficie inferior escasa, con 10 venas primarias con divergencia aguda, la pubescencia del pétalo y sépalo es densa, el fruto tiene una forma obovado-angosto, el pedicelo es redondeado, la cáscara del fruto es color verde helecho (RAL 6025) de 1.55 mm de grosor, la textura de la pulpa es acuosa y la forma de semilla es obovada-ancha con superficie del cotiledón lisa.

En la Figura 2, se presenta el dendograma en el cual se aprecia la formación de dos grupos: el primero, está conformado por F1A2, F3A4 y F2A5, el cual se caracteriza por presentar los genotipos con menor número de flores de 89-144, y menor número de ramificaciones por inflorescencia 6-7; el segundo grupo conformado por F2A3 y F4A7 este grupo presentó la mayor anchura del árbol de 3.68 a 3.90 metros, longitud de pétalo de 5.4 a 6 mm y grosor de la cáscara 1.17 a 1.55 mm.

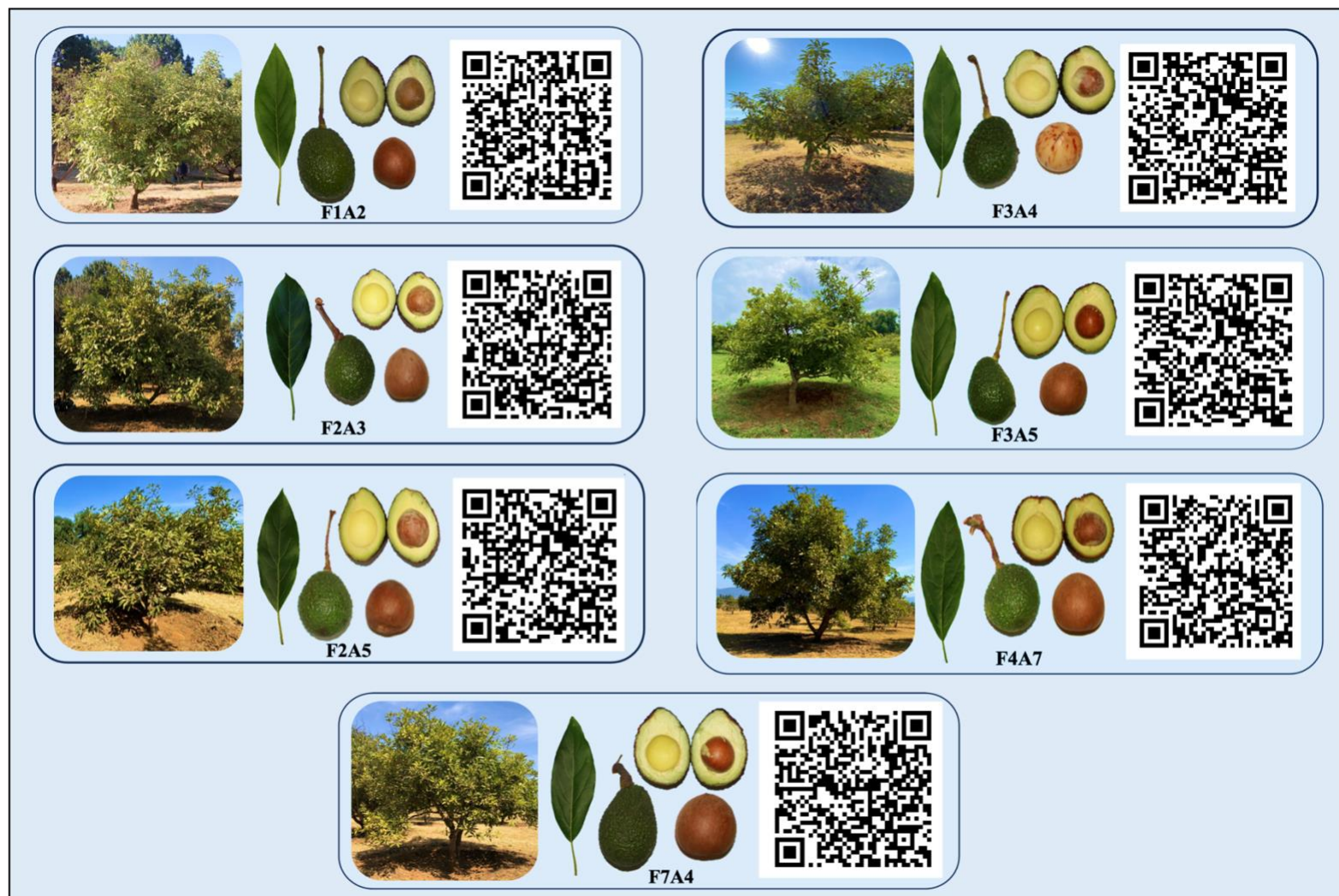


Figura 1. Descripción de árbol, hoja, fruto y semilla de las variantes de aguacate tipo Hass F1A2, F2A3, F2A5, F3A4, F3A5, F4A7 y F7A4.

También, se identificó la separación de dos individuos el genotipo F3A5, el cual presentó la menor altura de árbol 2.11 metros, el mayor número de flores por inflorescencia (259), número de ramificaciones por inflorescencia (13), longitud del eje principal de la inflorescencia (6.83 cm) y el menor número y longitud de entrenudos. Finalmente, el genotipo F7A4 se diferenció por presentar la mayor altura del árbol de 3.69 metros, circunferencia del tronco (85 cm), longitud de lámina foliar (19.64 cm), diámetro del fruto (7.50 cm), peso del fruto (290.55 g), peso de la semilla (43.35 g), posición del eje embrionario (7.79 mm), longitud el pedúnculo del fruto (10.07 cm) y mayor número y longitud de entrenudos.

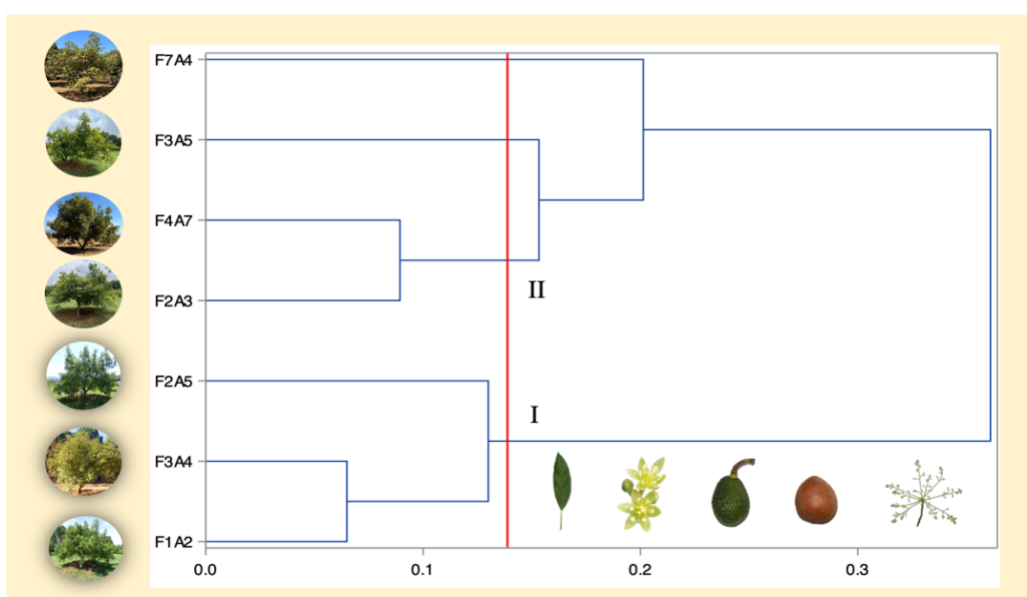


Figura 2. Dendrograma de similitud de siete variantes de aguacate de porte bajo, con base en 16 variables morfológicas.

Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con los reportados por Campos *et al.*, 2023 quienes caracterizaron de manera morfológica y genética la diversidad de aguacate criollo, e indicaron que las variables tamaño del árbol, anchura de árbol, forma de la hoja, patrón de ramificaciones, peso y tamaño del fruto, peso de la semilla son características con las que lograron formar grupos y determinar que se encuentran estrechamente ligados. Asimismo, Montes-Hernández *et al.* (2017), indican que con los datos obtenidos de las variables tamaño del fruto, peso, diámetro, longitud y tamaño de semilla lograron la caracterización morfológica. De la misma manera, Rodríguez-González (2011) reporta diferentes grupos basándose en las características: peso y tamaño del fruto, peso de semilla, longitud de la lámina foliar, forma de la hoja, longitud y

diámetro del pedicelo del fruto y margen de la hoja. De acuerdo con la característica de número y longitud de entrenudos con las cuales se puede identificar un árbol de porte bajo, el genotipo F3A5 fue el que presentó la menor altura, menor número y longitud de entrenudos; en contraste con el genotipo F7A4.

La diferencia entre los genotipos con relación a las características indicadas está relacionada con el porte del árbol, la longitud de entrenudos es la de mayor influencia para identificar arboles de porte bajo (Garrido-Torres, 2016). En este mismo sentido, estas características tienen una influencia similar en otros cultivos como es el caso del manzano (Seleznova *et al.*, 2003). Por lo anterior, y de acuerdo con los resultados obtenidos, el genotipo F7A4 presentó mayores diferencias, por ejemplo, los frutos con mayor tamaño y diámetro.

7.2. Fenotipos químicos

7.2.1. Fenotipos químicos foliares

De los 31 MS identificados en este estudio, 25 de ellos han sido reportados para *Persea americana*: α -pineno, β -pineno, β -mirceno, α -felandreno, β -felandreno, eucaliptol, linalool, mircenol, estragol, anetol, cariofileno, humuleno, germacreno D, γ -selineno, ácido palmítico, ácido mirístico, linoleato de metilo, fitol, ácido linoleico, α -terpineol, linoleato de etilo, 2-[(8Z,11Z)-heptadeca-8,11-dienil]furano, tricosano, 2-(7-heptadecinilo) tetrahidro-2H-pirano y hexacosano. Estos MS han sido identificados en la variedad *drymifolia* y Hass (Torres-Gurrola *et al.*, 2016; García-Rodríguez *et al.*, 2016; Escalera-Ordaz *et al.*, 2019). Un resultado significativo de este trabajo es la identificación de tres MS que no habían sido reportados en tejido foliar de *Persea americana*: el calameneno ha sido identificado en *Myrcia hatschbachii* D. Legrand, con actividad fitotóxica y antioxidante (Gatto *et al.*, 2020); la fenchona, en *Plectranthus hadiensis* a la cual se ha atribuido actividades antimicrobianas (Pérez, 2019). Por último, el ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico, éster metílico en *Malva sylvestris*, con múltiples propiedades terapéuticas para aliviar la fiebre, tratamiento de zonas fracturadas, diarrea, inflamaciones del hígado (Palomino y Fermina, 2021).

En la Figura 3, se presentan las frecuencias relativas (FR). En ella, es posible identificar seis MS con FR de 0.64 (α -pineno, β -mirceno, cariofileno, linoleato de metilo, 2-[(8Z,11Z)-Heptadeca-8,11-dienil]furano y tricosano), lo que indica que están presentes en los siete genotipos. Por otro lado, β -pineno, α -felandreno, β -felandreno, eucaliptol, fenchona, linalool, mircenol, α -terpineol,

estragol, anetol, γ -selineno, calameneno, ácido mirístico y hexacosano presentaron una FR de 0.042, lo que indica que estos MS sólo están presentes en un genotipo.

En las Figuras 4 y 5, se muestran los MS identificados para cada uno de los genotipos: en F2A5 y F3A5 se identificó el mayor número (19) de MS, en contraste con los genotipos F2A3, F3A4 y F7A4 los cuales presentaron 13 MS.

Se identificaron MS en altas concentraciones: el 2-(7-heptadeciniloxi) tetrahydro-2H-pirano (3067.3 mg g⁻¹), presente en los genotipos F1A2, F2A3, F4A7 y F7A4, reportado previamente en *Persea* var. *drymifolia* por Escalera-Ordaz *et al.*, (2019), en el cardamomo negro (*Amonum subulatem*) con actividad antioxidante (Shi *et al.*, 2021), y en especies medicinales como *Andrographis paniculata* (Kalaiselvan *et al.*, 2012).

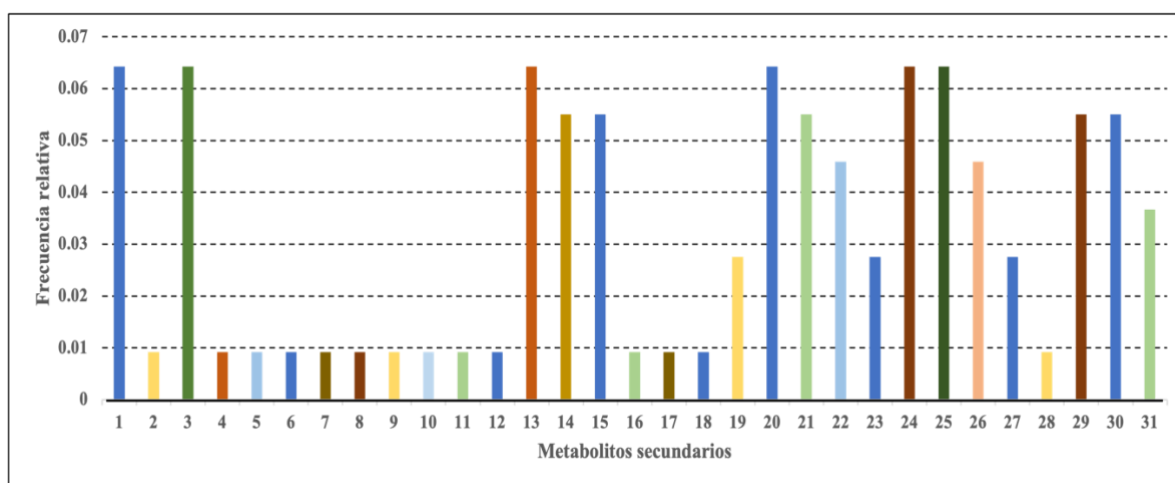


Figura 3. Frecuencia relativa de metabolitos secundarios identificados en tejido foliar de siete genotipos de aguacate de porte bajo. α -pineno (1), β -pineno (2), β -mirceno (3), α felandreno (4), β -felandreno (5), eucaliptol (6), fenchona (7), linalool (8), mircenol (9), α -terpineol (10), estragol (11), anetol (12), cariofileno (13), humuleno (14), germacreno D (15), γ -selineno (16), calameneno (17), ácido mirístico (18), ácido palmítico (19), linoleato de metilo (20), fitol (21), ácido linoleico (22), linolenato de etilo (23), 2-[(8Z,11Z)-Heptadeca-8,11-dienil]furano (24), tricosano (25), 2-(7-heptadeciniloxi) tetrahydro-2H-pirano (26), ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico éster metílico (27), hexacosano (28), desconocidos (29, 30, 31).

El ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico, éster metílico (1525.86 mg g⁻¹), se identificó en los genotipos F1A2, F2A3 y F4A7; el 2-[(8Z,11Z)-Heptadeca-8,11-dienil]furano (1319.22 mg g⁻¹); García-Rodríguez *et al.* (2016), identificaron este MS en altas concentraciones en aguacate variedad Hass

y se le atribuye actividad biológica larvica (Rodríguez-Saona *et al.*, 1998). Este MS está presente en los genotipos F2A5 y F3A4.

Por otro lado, los MS identificados en menor concentración fueron: la fenchona (13.14 mg g^{-1}) presente en el genotipo F2A5. El α -terpineol, (9.67 mg g^{-1}) identificado como atrayente (Park *et al.*, 2005), el cual se presentó en el genotipo F3A5. Finalmente, el humuleno (6.98 mg g^{-1}), reportado con actividad repelente y antibacteriana (Maia *et al.*, 2010) identificado en los genotipos F1A2, F2A5, F3A4, F3A5, F4A7 y F7A4.

En esta investigación se identificó la presencia exclusiva de algunos MS distintivos presentes en tres genotipos: el anetol (262.66 mg g^{-1}) con actividad antimicrobiana y repelente (Cetin *et al.*, 2010), el α -felandreno (148.83 mg g^{-1}) como antibacteriano, antifúngico, atrayente y tóxico para escarabajos (Sylvestre *et al.*, 2007; Kurade *et al.*, 2010), el β -pineno (34.87 mg g^{-1}) se ha reportado con distintas actividades como antibacteriano, antifúngico, repelente, larvica y antioxidante (Torres-Gurrola *et al.*, 2016), el β -felandreno (32.29 mg g^{-1}) con actividad antimicrobiana, insecticida, antioxidante, atrayente y citotóxico (Sylvestre *et al.*, 2007; Owolabi *et al.*, 2009; Kurade *et al.*, 2010), la fenchona (13.14 mg g^{-1}) y el estragol (11.55 mg g^{-1}) este último con actividad antifúngica y larvica (Fontenelle *et al.*, 2008). Estos se identificaron en el genotipo F2A5 el cuál presentó un total de seis MS únicos. Por otro lado, el genotipo F3A5 presentó siete MS únicos que fueron: eucaliptol (782.26 mg g^{-1}) con actividad biológica antibacteriana (Costantin *et al.*, 2008); el hexacosano (135.84 mg g^{-1}) como antifúngico y atrayente (Webster *et al.*, 2008), al mircenol (11.36 mg g^{-1}) se le ha reportado como antibacteriano, insecticida, larvica y antioxidante (Asawalam *et al.*, 2008; Quintero *et al.*, 2015), el γ -selineno (48.81 mg g^{-1}) con actividad antibacteriana y antifúngica (Cakir *et al.*, 2005), el calameneno (19.54 mg g^{-1}), el linalool (19.16 mg g^{-1}) como antimicrobiano, antifúngico, insecticida y repelente (Senthilkumar *et al.*, 2008; Dambolena *et al.*, 2010) y el α -terpineol (11.36 mg g^{-1}) con actividad antimicrobiana, antifúngica, antioxidante, larvica, citotóxico y antiinflamatorio (Dehgan *et al.*, 2007; Gourine *et al.*, 2009).

Finalmente, el ácido mirístico (257.32 mg g^{-1}) el cual se ha reportado en diferentes especies vegetales con beneficios para la salud, este MS se presentó en el genotipo F4A7. Cada uno de estos MS no se identificó en el resto de los genotipos, lo anterior podría tener diversos beneficios ya que es factible que la composición química del tejido foliar participe en la resistencia natural a plagas y enfermedades de *Persea americana* (Rincón-García, 2008; Torres-Gurrola *et al.*, 2011).

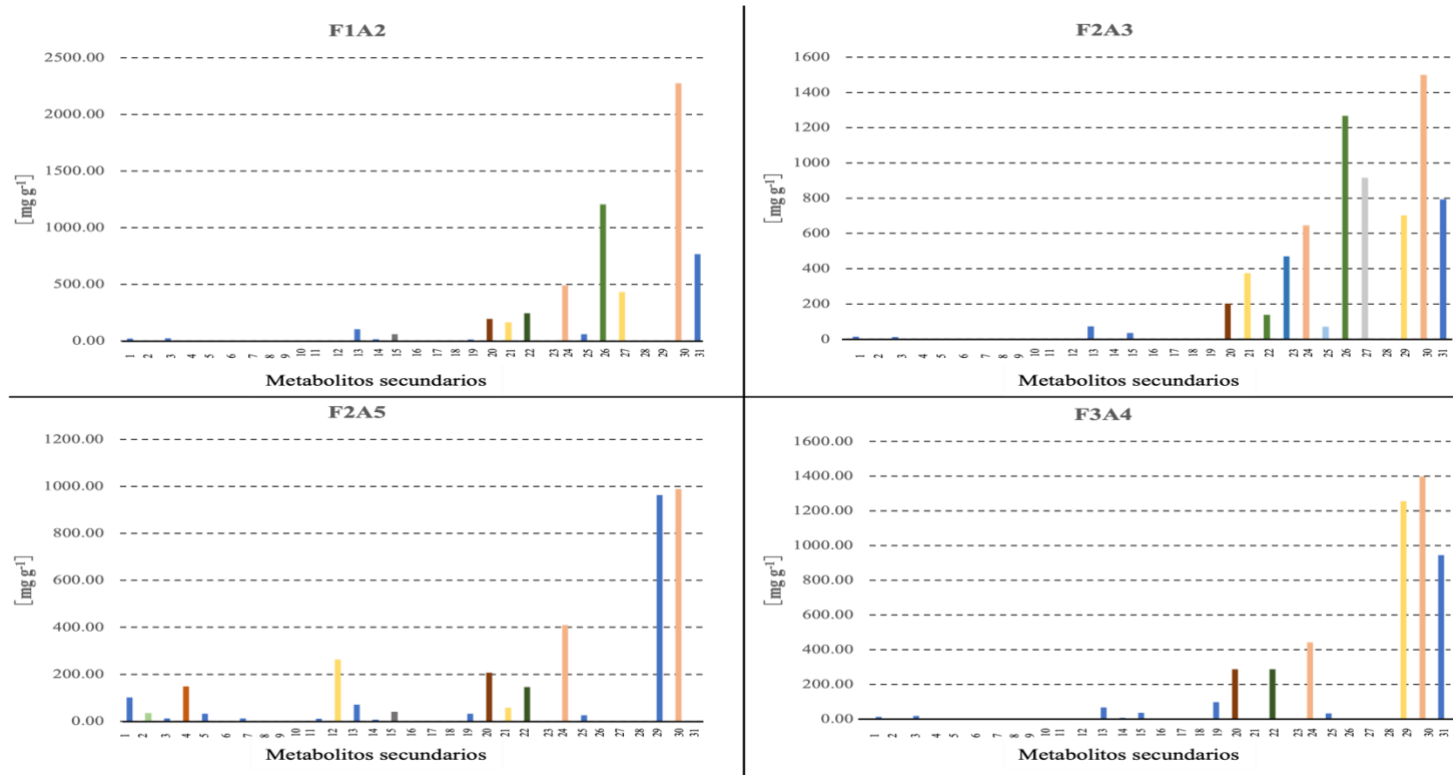


Figura 4. Presencia de metabolitos secundarios identificados en tejido foliar en los genotipos F1A2, F2A3, F2A5 y F3A4 de aguacate de porte bajo: α -pineno (1), β -pineno (2), β -mirceno (3), α -felandreno (4), β -felandreno (5), eucaliptol (6), fenchona (7), linalool (8), mircenol (9), α -terpineol (10), estragol (11), anetol (12), cariofileno (13), humuleno (14), germacreno D (15), γ -selineno (16), calameneno (17), ácido mirístico (18), ácido palmítico (19), linoleato de metilo (20), fitol (21), ácido linoleico (22), linolenato de etilo (23), 2-[(8Z,11Z)-heptadeca-8,11-dienil]furano (24), tricosano (25), 2-(7-heptadecinilo) tetrahydro-2H-pirano (26), ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico éster metílico (27), hexacosano (28), desconocidos (29, 30, 31).

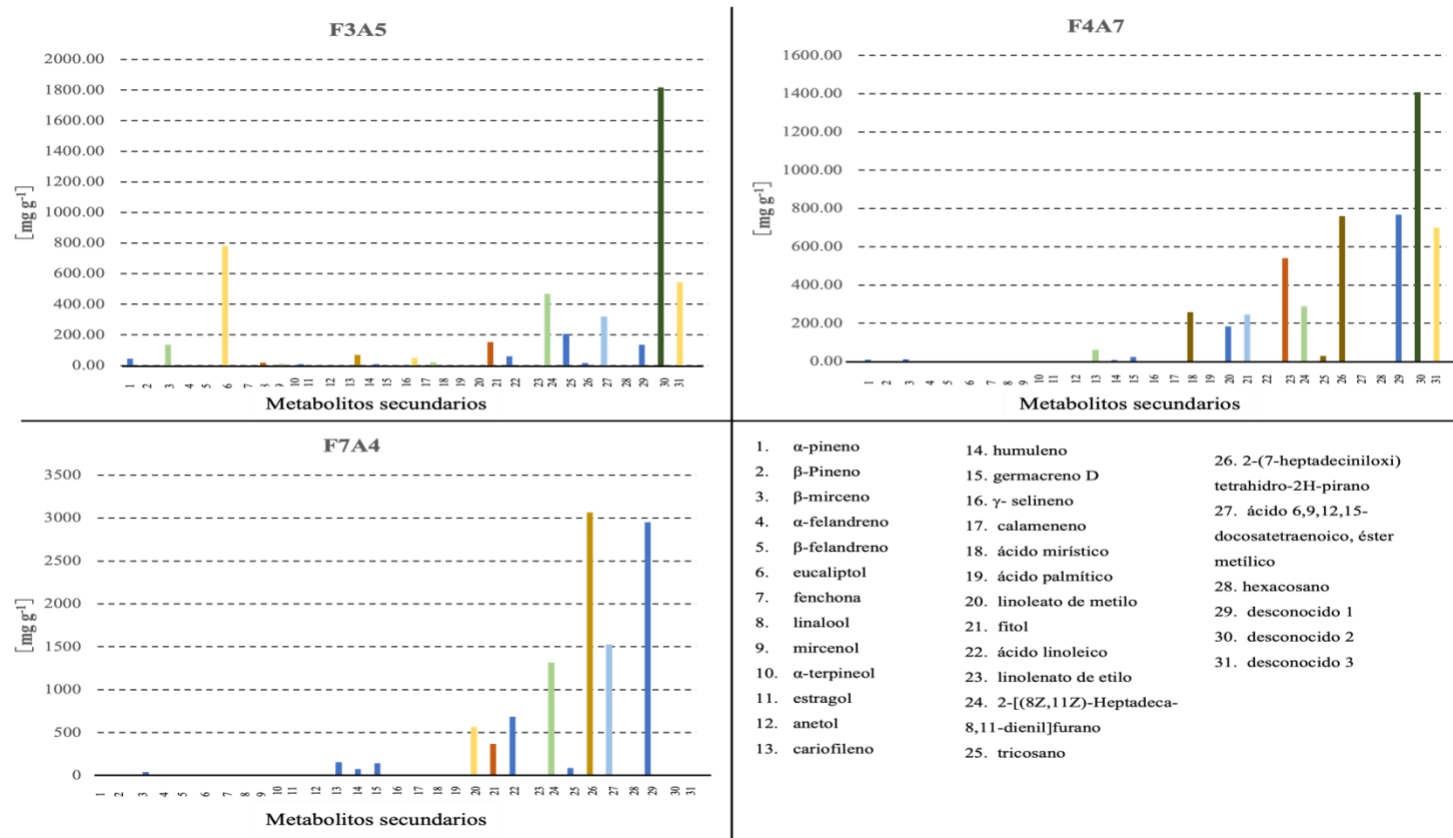


Figura 5. Presencia de metabolitos secundarios identificados en tejido foliar en los genotipos F3A5, F4A7 y F7A4 de aguacate de porte bajo.

7.2.1.1. Asociación entre MS foliares

Los resultados obtenidos del análisis de correlación de Pearson hecho para los 31 MS identificados, generaron 54 correlaciones positivas altamente significativas ($\alpha \geq 0.001$), de las cuales 29 presentaron un valor de 1: El β -pineno se asoció con α -felandreno, β -felandreno, fenchona, estragol, anetol. El α -felandreno con β -felandreno, fenchona, estragol, anetol. El β -felandreno con fenchona, estragol, anetol. El eucaliptol con linalool, mircenol, α -terpineol, γ -selineno, calamanene. El fenchona con estragol y anetol. El linalool con mircenol, α -terpineol, γ -selineno y calamaneno. El mircenol con α -terpineol, γ -selineno, calamaneno. El α -terpineol con γ -selineno. El estragol con anetol. El calamaneno con γ -selineno. Adicionalmente, 25 MS presentaron valores que fluctuaron entre $r=0.81$ y $r=0.97$ estos datos se presentan en el (Cuadro 4). Los MS que resaltan por mostrar mayor correlación con otros MS son: β -pineno, α -felandreno, eucaliptol y linalool los cuales se han reportado con distintas actividades biológicas (Torres Gurrola *et al.*, 2019).

7.2.1.2. MS determinantes en tejido foliar

Los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales indicaron que, los tres primeros componentes explican un total del 84 % de la varianza total. De acuerdo con Montes-Hernández *et al.*, (2017), valores mayores al 60-70 % explican un porcentaje razonable de la variabilidad de las muestras. En el Cuadro 5, se presentan los valores propios y la varianza explicada por componente y la total acumulada.

El primer componente (ACP1) está determinado por los siguientes MS: cariofileno, humuleno, germacreno D, fitol, 2-[(8Z,11Z)-heptadeca-8,11-dienil]furano, tricosano, 2-(7-heptadecinilo) tetrahydro-2H-pirano y ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico, éster metílico explicando el 36 % de la varianza total explicada. El segundo componente (ACP2), con el 27 % fue definido esencialmente por β -pineno, β -mirceno, α -felandreno, β -felandreno, fenchona, eucaliptol, linalool, mircenol, α -terpineol, estragol, γ -selineno. El tercer componente (ACP3) con 20 % α -pineno, linoleato de etilo, calameneno.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación de Pearson identificados en metabolitos secundarios de tejido foliar de genotipos de porte bajo de *Persea americana* Miller.

Correlaciones		Valor de correlación	Correlaciones		Valor de correlación
β-mirceno	Linalool	0.97	Ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico, éster metílico	Humuleno	0.96
	Mircenol	0.97		2-[(8Z,11Z)-Heptadeca-8,11-dienil]furano	0.93
	α-Terpineol	0.97		Humuleno	0.92
	γ-Selineno	0.97	Linoleato de metilo	2-[(8Z,11Z)-Heptadeca-8,11-dienil]furano	0.97
	Calameneno	0.97	Ácido linoleico		
	Cariofileno	0.94			
	Germacreno D	0.94	α-pineno	β-Pineno	0.91
	Eucaliptol	0.97		α-Felandreno	0.91
2-(7-Heptadeciniloxi) tetrahidro-2H-pirano	Linoleato de metilo	0.81		β-Felandreno	0.91
	Humuleno	0.89		Fenchona	0.91
	Tricosano	0.92	Estragol	0.91	
2-[(8Z,11Z)-Heptadeca-8,11-dienil]furano	Tricosano	0.94	2-[(8Z,11Z)-Heptadeca-8,11-dienil]furano	Anetol	0.91
	Ácido linoleico	0.97		Ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico, éster metílico	0.93
	2-(7-Heptadeciniloxi) tetrahidro-2H-pirano	0.93			

Cuadro 5. Componentes principales, valores propios y varianza explicada para metabolitos secundarios identificados en tejido foliar en genotipos de aguacate de porte bajo.

Componente principal	Valores propios	Proporciones	Varianza Acumulada
1	11.20	0.36	0.36
2	8.39	0.27	0.63
3	6.45	0.20	0.84
4	3.06	0.09	0.93
5	1.26	0.04	0.98

7.2.1.3. Similitud de genotipos de porte bajo con base en los MS foliares

En la Figura 6, se muestra la formación de un grupo que está conformado por los genotipos F1A2, F2A3, F3A4, F3A5 y F7A4. Los MS que se presentaron en este grupo fueron: β -pino, α -felandreno, β -felandreno, fenchona, estragol, linolenato de etilo; de igual manera, se logró

identificar la separación de dos individuos del genotipo F7A4, los MS que presentó fueron: el cariofileno, germacreno D, fitol, 2-[(8z,11z)-heptadeca-8,11-dienil]furano, tricosano, 2-(7-heptadeciniloxi) tetrahidro-2H-pirano, ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico, éster metílico. Finalmente, en el genotipo F3A5 los MS que se presentaron son: el α -pineno, β -mirceno, eucaliptol, linalool, mircenol, α -terpineol, humuleno, γ -selineno y calameneno. Esto último concuerda con lo reportado por García-Rodríguez *et al.* (2016) quién clasificó el perfil químico de tejido foliar de aguacate Hass y determinó que seis compuestos contribuyeron a la clasificación de los quimiotipos: estragol, cariofileno, α -felandreno, germacreno D, eugenol y α -cubebeno. Lavi *et al.* (1993) y Zhang *et al.* (2007) reportan que la diferencia entre individuos con distintos tipos de quimiotipos, probablemente estén controlados genéticamente como la producción de varios monoterpenos y sesquiterpenos.

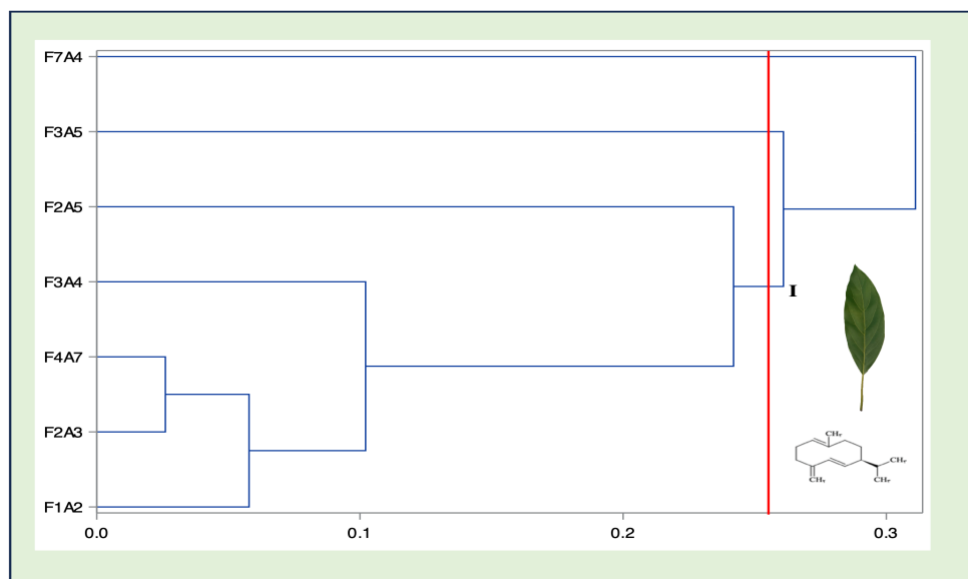


Figura 6. Dendrograma de similitud de siete genotipos de *Persea americana* Miller de porte bajo con base en la concentración de 22 MS identificados en el tejido foliar.

7.2.2. Fenotipos químicos florales

En tejido floral fueron identificados un total de 41 MS: 24 de ellos ya han sido reportados en *Persea americana*: hexanal, E-2-hexenal, α -pineno, β -pineno, 2,2,4,6,6-pentametilheptano, decano, P-cimeno, D-limoneno, eucaliptol, undecano, nonanal, dodecano, decanal, tridecano, α -copaeno, cariofileno, humuleno, naftaleno, tetradecano, α -farneseno, hexadecano, heptadecano, octadecano y ácido n-hexadecanoico (Torres-Gurrola *et al.*, 2016; García-Rodríguez *et al.*, 2016; Escalera-Ordaz *et al.*, 2019; Lara-García *et al.*, 2021). También se identificaron 14 MS

que no han sido reportados para *Persea americana*, pero si en otras especies vegetales: el 2,4-dimetil-1-hepteno, en el tejido foliar de *Oryza sativa*, con actividad atrayente (Dey *et al.*, 2023); el isocumeno, en samambaias con actividad antibacteriana (Mellon *et al.*, 2011); el benceno, 1-etil-4-metil en extracto de granos de café verde con efectos antifúngicos y antibacteriano (Guiop *et al.*, 2023); el pseudocumol en la obtención del aceite esencial de *aristoloquia sylvatica* con propiedades antisépticas y atrayentes (Rodríguez *et al.*, 2019); la isoforona fue identificada en compuestos químicos que secreta la raíz de *Arabidopsis thaliana* (Luna y Morayna, 2010); el benzotiazol se ha reportado con efecto inhibidor en el crecimiento de bacterias fitopatógenas (Muñoz *et al.*, 2018). El indeno, identificado en extractos de la raíz de *Cyperus laxus* (Noemí *et al.*, 2008). El éster 2-metil-, 2,2-dimetil-1-(2-hidroxi-1-metiletil) propílico del ácido propanoico, se detectó en extracto de *Camelina sinensis* con efecto de resistencia a sequía (Scolt *et al.*, 2019); el ácido 2-metilpropanoico, en la cascarilla del grano de cacao tostado (Pérez-Santana, 2020); el 2,4-di-terc-butilfenol en la composición química que microalgas (Rosales, 2017) y como antioxidante (Yoon *et al.*, 2006); el 3-hidroxi-5,6-epoxi- β -ionona, en guayaba (Quijano, 2011); el 2(Z),6(Z)-Farnesol, en aceite de flor de *Diospyros discolor* de Taiwan con actividad citotóxica y antimicrobiana (Su *et al.*, 2015). El naftaleno, decahidro-1,4 α -dimetil-7-(1-metiletenilo), identificado en el alga parda marina (*Dictyopteris divaricata*) (Ji *et al.*, 2009). El 1-heptanol, 2,4-dimetilo, en granos verdes de café (Guiop *et al.*, 2023). Finalmente, se identificaron tres MS que no han sido reportados en especies vegetales: el etilbenceno, el cual se relaciona con la degradación anaerobia por medio de una bacteria marina (Kniemeyer *et al.*, 2003); el 1-butenol, 1,3-difenil en la dimerización para la elaboración de fuentes de nuevos polímeros lubricantes, detergentes y otros productos químicos útiles (Gomboo *et al.*, 2005); el 7-octen-2-ol, 2,6-dimetil como contaminante (Navarro *et al.*, 2014).

En la Figura 7, se muestran las FR de los MS, es posible identificar cinco MS con una FR de 0.042 (hexanal, 2,4-dimetil-1-hepteno, α -pineno, D-limoneno, nonanal); por el contrario, el isocumeno, decano e indeno presentaron una FR (0.006) menor.

En las Figuras 8 y 9, se presentan los MS identificados en cada uno de los genotipos: el F1A2, F2A5 y el F3A4 presentaron el mayor número (32) de MS; en contraste con los genotipos F4A7 y F7A4 que presentaron solo 17 MS.

Algunos MS destacaron por presentar las mayores concentraciones: en el genotipo F3A4, el cariofileno (26.00 mg g⁻¹), este MS se ha reportado con actividades antibacterianas,

antifúngico, larvícida, antioxidante, atrayente, antialérgico, antiinflamatorio y citotóxico (Singh *et al.*, 2003; Cuca *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2007). El hexanal (13.67 mg g^{-1}), identificado con diversas actividades biológicas como antifúngica, atrayente, disuasivo de la oviposición (Scarpatti *et al.*, 1993; Huber *et al.*, 2000; Battinelli *et al.*, 2006), esto concuerda con lo reportado por Ali *et al.* (2020) el cual se presentó en altas concentraciones en los genotipos F3A5, F4A7 y F7A4. Por último, el D-limoneno (13.14 mg g^{-1}), al cual se le atribuyen actividades biológicas como antimicrobiana, antifúngica, repelente, antioxidante, atrayente, citotóxico, antiinflamatoria y anticonvulsiva (Cetin *et al.*, 2010; Cuca *et al.*, 2009; Sayah *et al.*, 2014. Este MS se identificó en el genotipo F2A3.

Por el contrario, algunos MS presentaron una menor concentración: el dodecano (1.39 mg g^{-1}), reportado con actividad repelente (Torres-Gurrola *et al.*, 2016) se determinó en los genotipos F1A2, F2A3 y F3A5. El isocumeno (0.69 mg g^{-1}) reportado con actividad antibacteriana (Mellon *et al.*, 2011) y el indeno (0.65 mg g^{-1}) con efectos citotóxicos (Petrovic, 2009) ambos MS presentes en el genotipo F2A3.

En este estudio se determinó la presencia exclusiva de algunos MS presentes únicamente en dos diferentes genotipos: el decano (1.39 mg g^{-1}) reportado con actividad repelente (Torres-Gurrola *et al.*, 2026), cariofileno (26.82 mg g^{-1}), el humuleno (2.39 mg g^{-1}) reportado con actividad repelente y antibacteriana (Maia *et al.*, 2010) y α -farneseno (7.33 mg g^{-1}) con actividad antibacteriana, antifúngica, atrayente y toxico para escarabajos (Sylvestre *et al.*, 2007; kurade *et al.*, 2010) estos cuatro MS se presentaron en el genotipo F3A4. Por último, el isocumeno (0.69 mg g^{-1}) y el indeno (0.65 mg g^{-1}) presentes únicamente en el genotipo F2A3.

Los resultados obtenidos representan una contribución significativa en el conocimiento del perfil químico de *Persea americana* con la identificación de nuevos MS presentes en tejido foliar y floral. La presencia de estos MS en los genotipos evaluados les confiere ventajas comparativas desde el punto de vista de mecanismos de defensa: bactericidas, fungicidas, larvicidas, repelentes e insecticidas, así como propiedades de atrayentes y repelentes (Torres-Gurrola *et al.*, 2009; García-Rojas *et al.*, 2016; Flores-Álvarez *et al.*, 2018; Ali *et al.*, 2020).

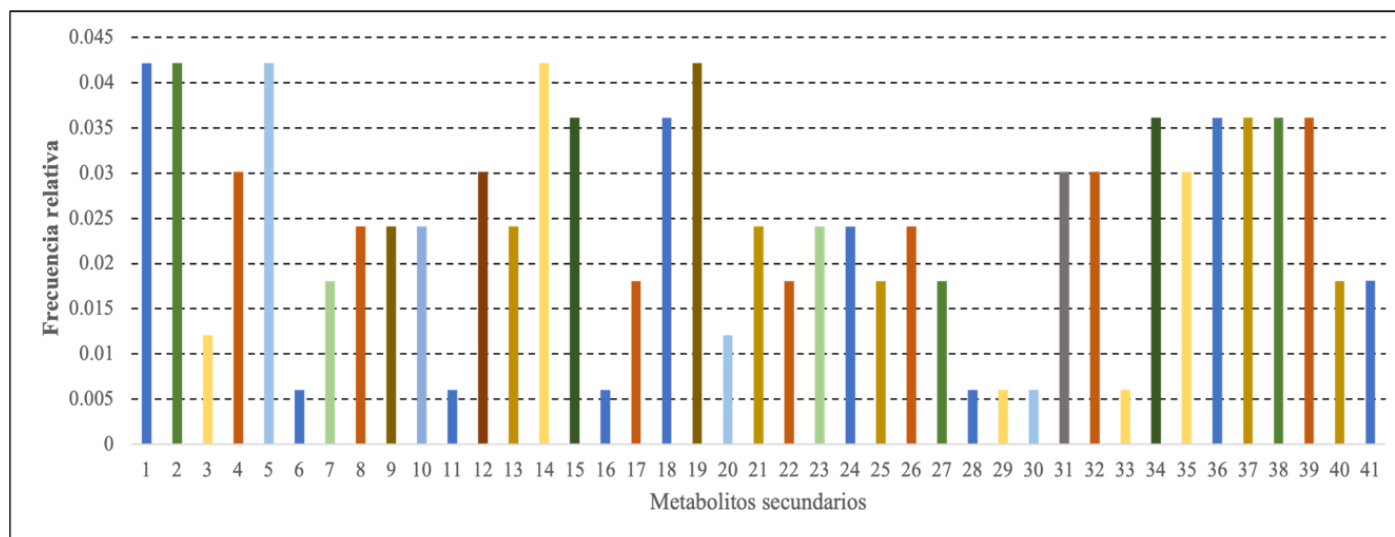


Figura 7. Frecuencia relativa de metabolitos secundarios identificados en el tejido floral de siete genotipos de aguacate de porte bajo. Hexanal (1), 2,4-dimetil-1-hepteno (2), E-2-hexena (3), etilbencino (4), α -pineno (5), isocumeno (6), benceno, 1-etil-4-metil (7), β -pineno (8), heptano, 2,2,4,6,6-pentametil (9), pseudocumol (10), decano (11), 1-heptanol, 2,4-dimetil (12), P-cimeno (13), D-limoneno (14), eucaliptol (15), indeno (16) 7-octen-2-ol, 2,6-dimetil (17), undeceno (18), nonanal (19), isoforona (20), naftaleno (21), dodecano (22), decanal (23), benzotiazol (24), tridecano (25), ácido propanoico (26), 2-metil-2,2-dimetil-1-(2-hidroxi-1-metiletil)propil éster (27), ácido 2-metilpropanoico (28), α -copaeno (29), tetradecano (30), cariofileno (31), humuleno (31), naftaleno, decahidro-1,4 α -dimetil-7-(1-metiletenilo), (32), pentadecano (33), α -farneseno (34), 2,4-di-t-butilfenol (35), 3-hidroxi-5,6-epoxi- β -ionona (36), hexadecano (37), heptadecano, 2(Z),6(Z)-Farnesol (38), 1-buteno, 1,3-difenil (39), octadecano (40) y ácido n-hexadecanoico (41).

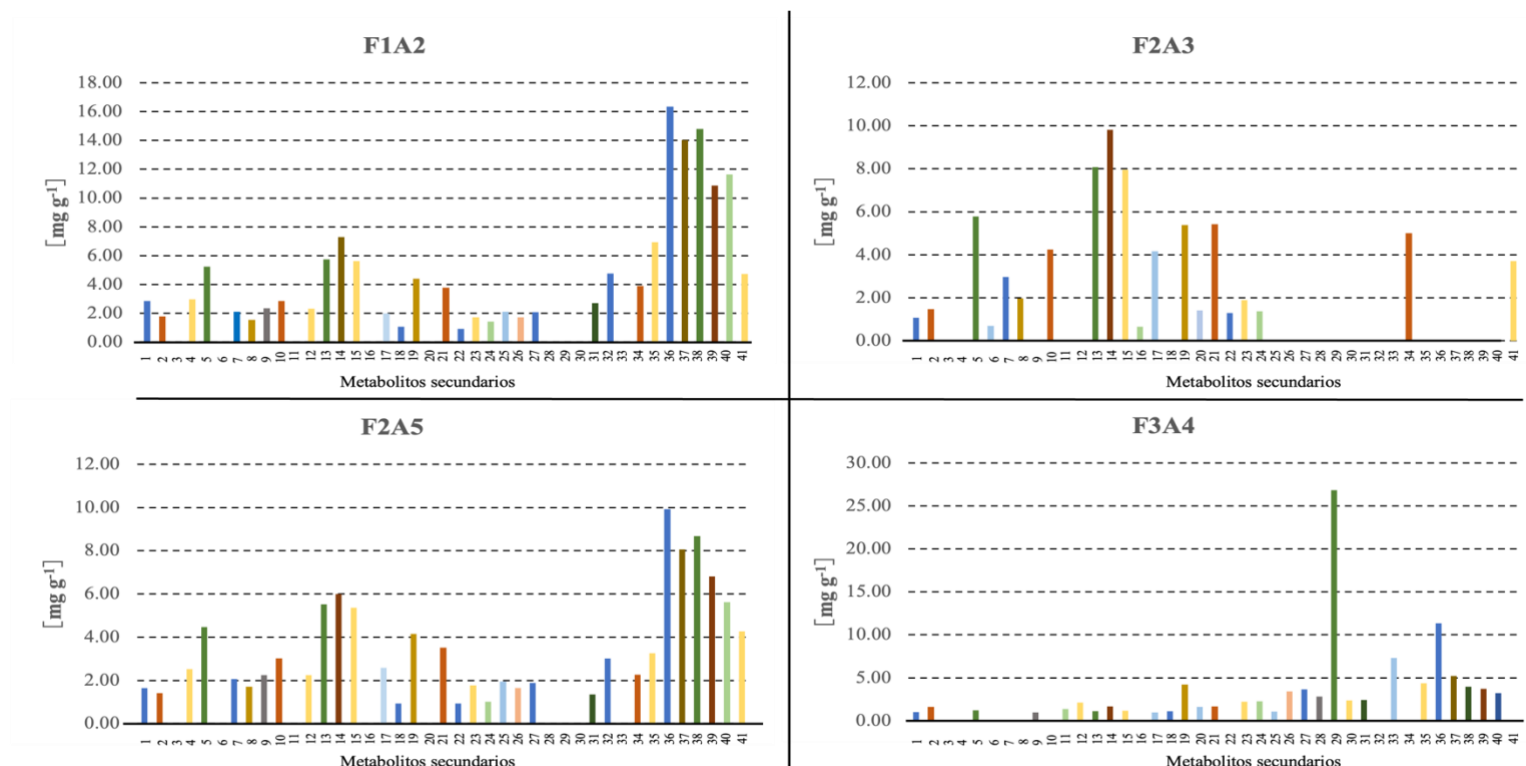


Figura 8. Presencia de metabolitos secundarios identificados en el tejido floral en los genotipos F1A2, F2A3, F2A5 y F3A4 de aguacate de porte bajo: hexanal (1), 2,4-dimetil-1-hepteno (2), E-2-hexanal (3), etilbencino (4), α -pineno (5), isocumeno (6), benceno, 1-etil-4-metil (7), β -pineno (8), heptano, 2,2,4,6,6-pentametil (9), pseudocumol (10), decano (11), 1-heptanol, 2,4-dimetil (12), P-cimeno (13), D-limoneno (14), eucaliptol (15), indeno (16) 7-octen-2-ol, 2,6-dimetil (17), undeceno (18), nonanal (19), isoforona (20), naftaleno (21), dodecano (22), decanal (23), benzotiazol (24), tridecano (25), ácido propanoico (26), 2-metil-2,2-dimetil-1-(2-hidroxi-1-metiletil) propil éster (27), ácido 2-metilpropanoico (28), α -copaeno (29), tetradecano (30), cariofileno (31), humuleno (31), naftaleno, decahidro-1,4 α -dimetil-7-(1-metiletenilo) (32), pentadecano (33), α -farneseno (34), 2,4-di-t-butilfenol (35), 3-hidroxi-5,6-epoxi- β -ionona (36), hexadecano (37), heptadecano, 2(Z),6(Z)-Farnesol (38), 1-buteno, 1,3-difenil (39), octadecano (40) y ácido n-hexadecanoico (41).

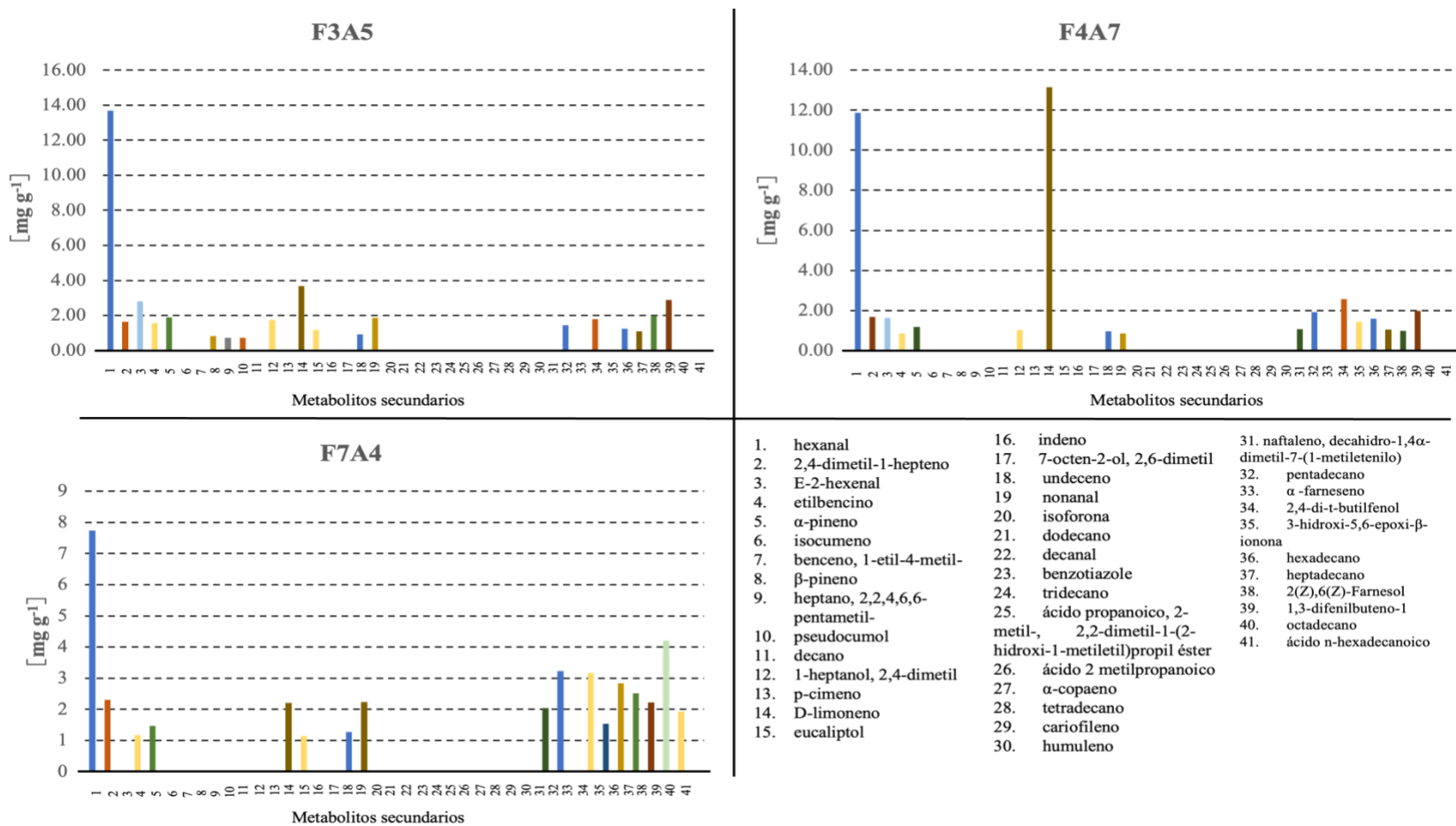


Figura 9. Presencia de metabolitos secundarios identificados en el tejido floral de los genotipos F3A5, F4A7 y F7A4 de aguacate de porte bajo.

Es importante destacar la identificación de MS como el 7-octen-2-ol, 2,6-dimetil cuya presencia se ha reportado como un micro contaminante en ríos (Navarro *et al.*, 2014) y el 1,3-didenil-1-butenol en la dimerización para la elaboración de fuentes de nuevos polímeros lubricantes, detergentes y otros productos químicos útiles (Gomboo *et al.*, 2005).

7.2.2.1. Asociación entre MS florales

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de correlación para los MS identificados en tejido floral, se determinaron 59 correlaciones positivas, altamente significativas ($\alpha \geq 0.001$); del total, 11 obtuvieron un valor de $r=1$: el pseudocumol con benceno, 1-etil-4-metil, P-cimeno, dodecano. El indeno con benceno, 1-etil-4-metil, β -pineno. El 1-heptanol, 2,4-dimetil con α -copaeno, cariofileno, humuleno. El ácido propanoico, 2-metil-, 2,2-dimetil-1-(2-hidroxi-1-metiletil) propil éster con humuleno. El cariofileno con α -farneseno. El 2(z)6(z)- α -farneseno con octadecano. En este mismo sentido, 48 asociaciones presentaron valores de $r=0.87$ y $r=0.98$, (Cuadro 6). Algunos de los compuestos identificados, resaltan por asociarse con varios MS: el isocumeno, con actividad antibacteriana (Wolkowitz *et al.*, 2011). El pseudocumol con actividades antisépticas y atrayentes (Rodríguez *et al.*, 2019). El heptadecano con actividades antimicrobianas e insecticidas (Muñoz *et al.*, 2018). El D-limoneno con actividades antifúngica, repelente, antioxidante y citotóxico (Torres-Gurrola *et al.*, 2019).

7.2.2.2. MS determinantes en tejido floral

Los resultados obtenidos del ACP, indicaron que los tres primeros componentes explicaron el 91 % de la varianza total (Cuadro 7). El primer componente (ACP1) está determinado por: el α -pineno, benceno, 1-etil-4-metil, β -pineno, pseudocumol, P-cimeno, eucaliptol, 7-octen-2-ol, 2,6-dimetil, nonanal, naftaleno, decanal, dodecano, ácido n-hexadecanoico explicando el 38 % de la varianza total explicada, el segundo componente (ACP2), isocumeno, 1-heptanol, 2,4-dimetil, indeno, undeceno, ácido 2-metilpropanoico, naftaleno, decahidro-1,4 α -dimetil-7-(1-metiletenilo), éster 2-metil-, 2,2-dimetil-1-(2-hidroxi-1-metiletil) propílico del ácido propanoico, 3-hidroxi-5,6-epoxi- β -ionon y hexadecano explicando el 31 %. Finalmente, el ACP3 conformado por el etilbenzeno, decano, isoforona, α -copaeno, cariofileno, humuleno, α -farneseno y pentadecano explican el 21 % de la varianza total.

Cuadro 6. Coeficientes de correlación de Pearson identificados en metabolitos secundarios de tejido floral de genotipos de porte bajo de *Persea americana* Miller.

Correlaciones		Valor de correlación	Correlaciones		Valor de correlación
α -Pinoeno	Pentadecano	0.89	1-Buteno, 1,3-difenil	Heptadecano	0.96
Isoforona	Ácido n-hexadecanoico	0.94		Nonanal	0.87
Decanal	Hexadecano	0.93	Pseudocumol	β -Pinoeno	0.93
Indeno	Nonanal	0.87		Tridecano	0.96
	7-Octen-2-ol, 2,6-dimetil	0.95		Eucaliptol	0.98
	Dodecano	0.98		7-Octen-2-ol, 2,6-dimetil	0.95
	Naftaleno	0.96		Naftaleno	0.96
	Eucaliptol	0.93		1-Heptanol, 2,4-dimetil	0.84
Heptano, 2,2,4,6,6-pentametil	Dodecano	0.93		Ácido n-hexadecanoico	0.94
	Ácido n-hexadecanoico	0.90	Cariofileno	Heptadecano	0.94
	Pseudocumol	0.97		2(Z),6(Z)-Farnesol	0.92
	P-Cimeno	0.91	Insocumeno	β -Pinoeno	0.95
Decano	P-Cimeno	0.97		P-Cimeno	0.97
	Eucaliptol	0.98		7-Octen-2-ol, 2,6-dimetil	0.90
	7-Octen-2-ol, 2,6-dimetil	0.93		Naftaleno	0.93
	Nonanal	0.87		Dodecano	0.98
	Ácido n-hexadecanoico	0.92		Ácido n-hexadecanoico	0.95
Hexadecano	Octadecano	0.92		Benceno, 1-etil-4-metil	0.98
	2(Z),6(Z)-Farnesol	0.90		Pseudocumol	0.98
	1-Buteno, 1,3-difenil	0.96		Eucaliptol	0.98
D-Limoneno	Eucaliptol	0.98	2,4-Dimetil-1-hepteno	Isoforona	0.87
	Naftaleno	0.98	Ácido propanoico, 2-metil-, 2,2-dimetil-1-(2-hidroxi-1-metiletil) propil éster	E-2-hexenal	0.88
	Dodecano	0.99		2(Z),6(Z)-Farnesol	0.92
	Ácido n-hexadecanoico	0.92			
	7-Octen-2-ol, 2,6-dimetil	0.97			

Cuadro 7. Componentes principales, valores propios y varianza explicada para metabolitos secundarios identificados en tejido floral de genotipos de aguacate de porte bajo.

Componente Principal	Valores Propios	Proporciones	Varianza acumulada
1	16.20	0.38	0.38
2	13.04	0.31	0.69
3	9.17	0.21	0.91
4	2.25	0.05	0.96
5	0.89	0.02	0.99

7.2.2.3. Similitud de genotipos de porte bajo con base en los MS florales

En la Figura 10, se presentan de manera gráfica las agrupaciones logradas de acuerdo con la información de los MS identificados, se observa la formación de dos grupos: el primero conformado por los genotipos F1A2 y F2A5 que comparten los siguientes MS: el α -pineno, heptano, 2,2,4,6,6-pentametil, 1-heptanol, 2,4-dimetilo, P-cimeno, eucaliptol, nonanal, tridecano, naftaleno, decahidro-1,4 α -dimetil-7-(1-metiletenilo), 3-hidroxi-5,6-expoxi- β ionona, hexadecano, heptadecano, 2(2),6(2) farnesol, 1-buteno, 1,3-difenil, octadecano, ácido n-hexadecanico. El segundo grupo conformado por F3A5, F4A7, F7A4 se identificó la presencia de los siguientes MS: el hexanal, 2,4-dimetil-1-hepteno, indeno y tetradecano. También fue posible identificar la separación de dos genotipos: el F3A4 que presentó al decano, isoforona, decanal, benzotiazol, éster 2-metil-2,2-dimetil-1-(2-hidroxi-1metil) propílico del ácido propanico, ácido 2-metillpropanoico, α -copaeno, cariofileno, humuleno y α -farneseno. Por último, el F2A3, en este genotipo presentó al isocumeno, benceno, 1etil-4metil, pseudocumol, 7-octen-2-ol, 2,6-dimetilo, naftalina, dodecano y 2-4 di-t-butifenol.

El contenido y tipo de MS en flores se ha sugerido para la clasificación taxonómica entre razas de aguacate (Campuzano-Granados y Cruz-López, 2021) y en otras especies vegetales (Niinemets *et al.*, 2004) como el crisantemo (Kim *et al.* 2014).

De acuerdo con lo anterior, la composición química de los genotipos evaluados mostró que existen diferencias en el contenido de MS en el tejido florar, los genotipos con mayor número y tipo de MS podrían tener ventajas, como afirma Kolosava *et al.* (2021), para ayudar en la defensa

de las plantas, y, de forma contraria, sin esta variabilidad química podrían ser susceptibles a enemigos naturales que ataquen variedades específicas.

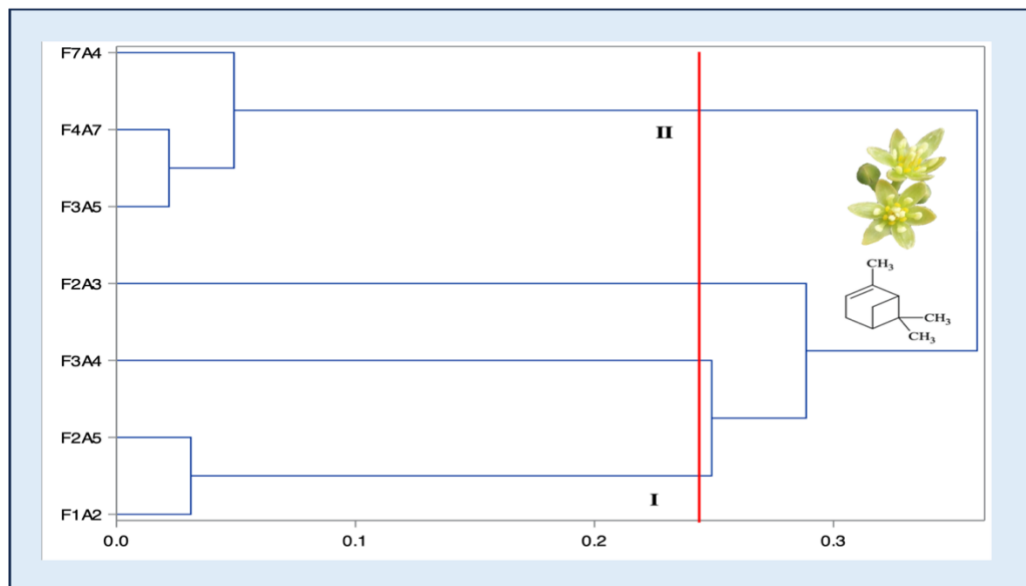


Figura 10. Dendrograma de similitud de siete genotipos de *Persea americana* Miller de porte bajo con base en la concentración de 30 MS identificados en el tejido floral.

7.3. Rendimiento de siete genotipos de aguacate de porte bajo

Los rendimientos promedio calculados para cada uno de los genotipos se muestran en la Figura 11, durante el año 2022 fluctuaron entre 6.7 y 72.8 kg·árbol⁻¹; el genotipo F3A4, presentó el mayor valor promedio, en contraste con F2A3. Es importante señalar que el genotipo F3A5 no se logró evaluar, ya que los frutos de este genotipo fueron sustraídos ilegalmente. El rendimiento de los genotipos evaluados en el año 2023 fluctuó entre 6.5 y 128.4 kg·árbol⁻¹: el genotipo que presentó mayor rendimiento fue el F4A7 a diferencia del F3A4. Los rendimientos obtenidos en los genotipos evaluados mostraron ser competitivos respecto a la variedad Hass ya que, de acuerdo con la literatura, en México el rendimiento de aguacate se ha mantenido bajo por décadas con un aproximado de 10.69 ton/ha (SIAP, 2023). Tomando en cuenta que se establecen 100 árboles por ha, el estimado de producción por árbol es de 106.9 kg, en comparación con los genotipos de aguacate de porte bajo FA12, F2A3, F2A5, F4A7 y F7A4 que presentaron rendimientos entre los 99.6 y 128.4 kg·árbol⁻¹, mismos que podrían ser una alternativa potencial ya que debido a su tamaño podrían establecerse en altas densidades y obtener así mayores

rendimientos. Franco-Sánchez *et al.* (2018), reporta el establecimiento de altas densidades con una nueva variedad mejorada URP MCAGMNO3 Hass-Méndez, de 5 años, con 366 árboles por hectárea dando un rendimiento total 11 t ha⁻¹. Por otra parte, es importante destacar que los genotipos no cuentan con un manejo intensivo para mejorar la productividad, este factor se debe tomar en cuenta ya que teniendo un mejor manejo agronómico los rendimientos podrían aumentar. En lo que respecta a la producción, se evidenció la alternancia, pero esta fue mayor en el genotipo F3A4 dado que en el año 2022 presentó el mayor rendimiento promedio en contraste con el año 2023. De acuerdo con Salazar-García y Lazcano-Ferrat (1999), el aguacate presenta este comportamiento alternante, el cual se caracteriza por una mayor carga de cosecha en un ciclo de producción y una baja carga de cosecha en el siguiente ciclo (Rebolledo y Romero 2011). De acuerdo con Myers *et al.*, 2002, el factor de alternancia se debe principalmente a las prácticas agrícolas como cosecha tardía lo que tiende a incrementar el problema, mientras que cosechas tempranas, clareos químicos o manuales en un año de producción, disminuyen el impacto de la alternancia productiva a través del aumento del número de yemas florales.

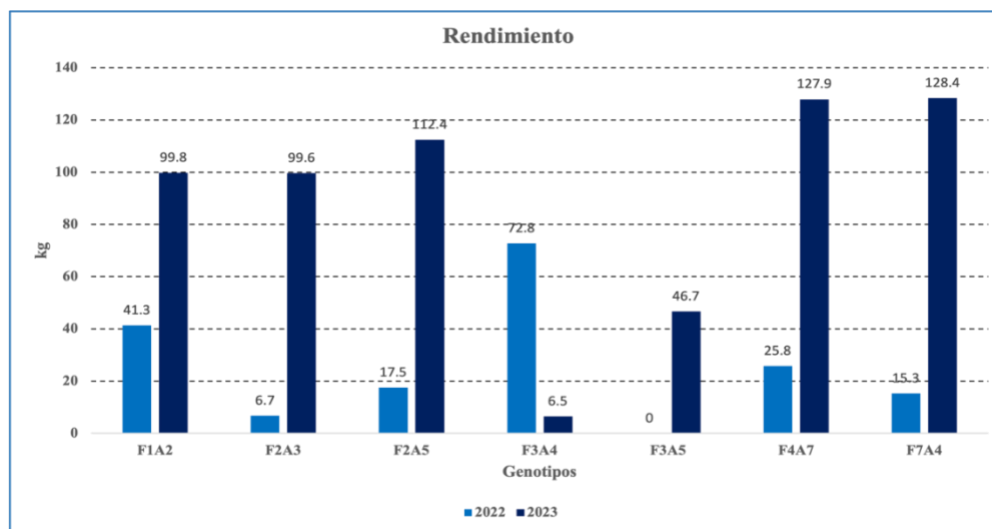


Figura 11. Rendimiento promedio 2022-2023 de siete genotipos de *Persea americana* Miller de porte bajo establecidos en el banco de germoplasma de la Facultad de Agrobiología.

Una de las prioridades en la investigación de nuevas variedades de aguacate es identificar árboles con porte bajo que sean altamente productivos con buena calidad de la fruta, resistentes

a plagas y enfermedades con el fin de establecer plantaciones de alta densidad y reducir costos de producción (Sánchez-Colín *et al.*, 1992). Asimismo, Herrera-González *et al.* (2017), indican que los rendimientos y calidad del fruto dependen en gran medida de la variedad cultivada, el ambiente, manejo del cultivo, las condiciones nutrimentales y las características fisicoquímicas del suelo; por lo cual, es relevante destacar que los genotipos evaluados se encuentran establecidos bajo las mismas condiciones ambientales y manejo por lo que los rendimientos obtenidos no se ven afectados por dichas condiciones.

7.3.1. Asociación del rendimiento y características morfológicas

Los resultados obtenidos indicaron tres correlaciones con valor positivo con alta significancia ($\alpha \geq 0.001$), se presentan en el Cuadro 8. De acuerdo con Garrido-Torres (2016) los árboles de porte bajo se caracterizan por una alta producción a una edad temprana. Esto se ejemplifica en el caso de manzanos injertados sobre el portainjerto, que alcanzan solo alrededor de un tercio del tamaño normal y producen fruto en una edad temprana (Sánchez-Cervantes *et al.*, 2021). Como también, Viteri *et al.* (2010) quienes identificaron que las plantas de jitomate enanas presentaron alta producción, conteniendo altos niveles de MS como carotenoides y fenoles, las cuales presentaron mayor resistencia.

Cuadro 8. Asociación de rendimiento con características morfológicas de genotipos de aguacate de porte bajo.

Correlación		Valor de correlación
Rendimientos promedio 2023 (88.76 kg· árbol ⁻¹)	Diámetro del fruto	0.75
	Peso del fruto	0.73
	Longitud de entrenudos	0.75

7.3.2. Asociación de rendimiento y contenido de MS

Los resultados obtenidos del análisis de correlación indicaron un total de diez asociaciones: seis con valor positivo con alta significancia ($\alpha \geq 0.001$), estas correlaciones fueron con el rendimiento del año 2022: ácido 2-metilpropanoico, naftaleno, decahidro-1,4 α -dimetil-7-(1-metiletenilo), α -copaeno, cariofileno, humuleno y farneseno (Cuadro 9).

Por el contrario, se identificaron MS (α -copaeno, cariofileno, humuleno y farneseno) que presentaron correlaciones negativas con el rendimiento obtenido en el año 2023.

En la actualidad no existe evidencia sobre la influencia de los MS sobre el rendimiento del aguacatero, en este estudio se observó que el diferencial de producción entre años es debido a periodos de alternancia, característica de esta especie, lo cual afecta los rendimientos por año. Lo anterior es debido a diferentes causas: el árbol agota las reservas disponibles, presenta baja calidad de fruto y genera estrés a la planta que puede causar la caída de hojas, ramas y debilita la raíz, lo que causa también la susceptibilidad a ciertas enfermedades.

Cuadro 9. Asociación de los rendimientos 2022 y 2023 con los metabolitos secundarios identificados en tejido foliar y floral.

Correlación		Valor de correlación
Rendimientos Promedio 2022 (29.9 kg· árbol ⁻¹)	Ácido 2-metilpropanoico	0.87
	Naftaleno, decahidro-1,4 α -dimetil-7-(1-metiletenilo)	0.76
	α -copaeno	0.84
	Cariofileno	0.84
	Humuleno	0.84
	Farneseno	0.84
Rendimientos promedio 2023 (88.76 kg· árbol ⁻¹)	α -copaeno	-0.79
	Cariofileno	-0.79
	Humuleno	-0.79
	Farneseno	-0.79

En este trabajo, los MS α -copaeno, cariofileno, humuleno y farneseno sugieren una posible relación con el fenómeno de alternancia, ya que en el año 2022 los genotipos evaluados presentaron rendimientos bajos y correlaciones positivas altamente significativas; en contraste, estos mismos MS presentaron valores de correlaciones altas y negativas cuando se obtuvieron mayores rendimientos. Para verificar lo anterior se sugiere hacer análisis del tipo y contenido de MS en cada uno de los años de producción, ya que nuestros resultados solo incluyen el análisis fitoquímico en el año 2023. Adicionalmente, los MS relacionados con la alternancia, en este trabajo, se han asociado con diferentes actividades: antibacteriana, fungicida, repelente, antioxidante y atrayente (Torres-Gurrola *et al.*, 2016) lo cual podría indicar que estos MS se expresan en condiciones de estrés biótico y abiótico.

7.4. Análisis global de la información

7.4.1. Asociación de características morfológicas, fenotipos químicos y rendimiento

Los resultados obtenidos del análisis de correlación de Pearson practicado con los datos morfológicos, fenotipos químicos y de rendimiento indicaron un total de 33 correlaciones positivas altamente significativas ($\alpha \geq 0.001$); del total, 14 presentaron un valor de $r=1$: el β -mirceno con eucaliptol, linalool, α -terpineol, γ -selineno, calamaneno; el eucaliptol con linalool, α -terpineol, γ -selineno, calamaneno; el copaeno con cariofileno, humuleno, farmeseno; el cariofileno con humuleno y farmeseno; el p-cimeno con dodecano. De estas correlaciones, los MS que fueron correlacionados con un mayor número de MS fueron el β -mirceno, el cual ha sido reportado con efecto antimicrobiano, antifúngico e insecticida; así como, el eucaliptol detectado con efecto biológico insecticida y antibacteriano (Dambolena *et al.*, 2010). Asimismo, fueron identificadas 19 correlaciones con valores que oscilaron entre $r=0.90$ a $r=0.98$ (Cuadro 10), en donde, resaltan: el α -pineno al correlacionarse con cinco MS, este metabolito ha sido reportado con actividad biológica bactericida, fungicida, larvicida, repelente, atrayente, insecticida, antioxidante, antiinflamatoria y anticonvulsiva (Torres-Gurrola *et al.*, 2019). El ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico, éster metílico, reportado en semillas de *Persea* con actividad biológica antioxidante, antiinflamatoria y anticancerígena (Alkhalaf *et al.*, 2019), fue asociado con tres metabolitos secundarios y el peso de la semilla. Otro metabolito secundario correlacionado con el peso de la semilla es el humuleno, este MS no se ha reportado en semilla, pero si en pulpa de aguacate con actividad biológica antibacteriana, larvicida, repelente y atrayente (Albuquerque *et al.*, 2004; Julião *et al.*, 2009; Torres-Gurrola *et al.*, 2009). Por lo tanto, en el análisis de correlación sólo se identificó la asociación de una característica morfológica (peso de semilla) con fenotipos químicos (ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico éster metílico y humuleno). El rendimiento de las variantes no fue asociado con ninguna de estas características.

7.4.2. Similitud de genotipos de porte bajo, con base en características morfológicas, fenotipos químicos y rendimiento

El dendograma generado con base en datos morfológicos, fenotipos químicos y de rendimiento muestra la formación de dos grupos: el primero conformado por los genotipos F1A2, F2A5, F2A3 y F3A4, este grupo se caracterizó por tener los árboles con mayor anchura 2.97 m, mayor circunferencia del tronco 60.55 a 91.3 cm, mayor longitud de la lámina foliar (19.87 cm), mayor

longitud de pedúnculo de fruto (1.4 cm), menor número de flores por inflorescencia (89-154), menor diámetro (5.47 cm) y peso del fruto (150.3 g), menor longitud del pedicelo (1.2 cm) y la mayor concentración de los siguientes MS: α - pineno, β -pineno, pseudocumol, octadecano, nonanal, naftaleno, dodecano, decanal, hexano, 1- heptanol, 2,4-dimetilo, isoforona y α -copaeno, además, presentó el mayor valor de rendimiento estimado en el año 2022.

Cuadro 10. Coeficientes de correlación de Pearson de las variables morfológicas, fenotipos químicos y el rendimiento de siete genotipos de aguacate de porte bajo

Correlación		Valor de correlación	Correlación		Valor de correlación
Peso del fruto	Diámetro de fruto	0.95	α -pineno	Pseudocumol	0.98
Humuleno	Peso de semilla	0.98		P-Cimeno	0.97
Ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico, éster metílico	Peso de semilla	0.96		Eucaliptol	0.98
	Humuleno	0.96		7-Octen-2-ol, 2,6-dimetil	0.90
	2-[(8z,11z)-Heptadeca-8,11-dienyl] furano	0.96		Docecano	0.98
	2-(7-Heptadeciniloxi) tetrahydro-2H-pirano	0.96	Pseudocumol	Eucaliptol	0.97
P-Cimeno	Eucaliptol	0.98		P-Cimeno	0.98
	Octadecano	0.97		Docecano	0.98
	Naftaleno	0.98		β -Pineno	0.97
	Eucaliptol	0.98			

El segundo grupo conformado por los genotipos F4A7 y F7A4; presentó los frutos con mayor diámetro (7.5 cm) y peso (290.55 g), mayor longitud del pedicelo (1.6 cm), mayor peso de semilla (29.45 g) y mayor concentración de los siguientes MS: cariofileno, germacreno, 2-[(8Z,11Z)-heptadeca-8,11-dienil]furano, ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico y humuleno, este grupo presentó el mayor rendimiento del año 2023. No obstante, se identificó la separación del genotipo F3A5 que presentó el mayor número de ramificaciones (13) mayor número de flores por inflorescencia (259), mayor longitud de la inflorescencia (6.83 cm) y mayor longitud de pétalo (6.55 cm), así como, la mayor concentración de los MS: p-mirceno, eucaliptol, linalool, α -terpineol, γ -selinene y calameneno. Respecto al rendimiento, fue el genotipo con los valores

más bajos en los años 2022 y 2023. En la Figura 12, se presenta el dendograma de similitud correspondiente.

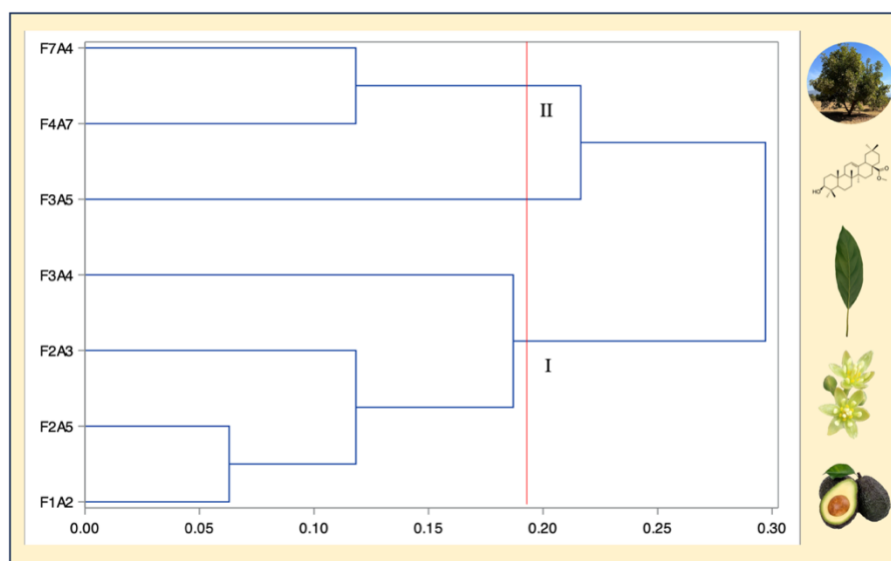


Figura 12. Dendrograma de similitud generado con base en 46 variables de las características morfológicas, fenotipos químicos y rendimiento de siete genotipos de aguacate de porte bajo.

La diversidad química es importante para la conservación, utilización y clasificación adecuada del material genético con el que contamos (Lara- García *et al.*, 2021). Por ejemplo, Canto *et al.* (2013), logró identificar diferentes variedades de aguacate comerciales con base en el contenido de MS. Asimismo, Campuzano-Granados y Cruz-López, (2021) identificaron y compararon los compuestos volátiles (COV) florales presentes en el aguacate Hass y la raza antillana. El conocimiento de las características morfológicas, fitoquímicas, así como el rendimiento del aguacatero, es de importancia en la identificación de nuevas variedades para su conservación como para la generación de nuevas alternativas de respuesta a las diferentes problemáticas que enfrentamos hoy en día.

VIII. PERSPECTIVAS Y/O RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación arrojaron la identificación de 20 metabolitos secundarios que no han sido reportados hasta la fecha en *Persea*, es importante señalar que solo se analizaron los compuestos volátiles y semivolátiles en tejido foliar y floral por lo que se sugiere ampliar el espectro de análisis a los compuestos no volátiles y a los órganos como la semilla y el fruto.

Otro aspecto importante es el relacionado con algunos metabolitos secundarios como son el α -copaeno, cariofileno, humuleno y el farneseno que fueron relacionados parcialmente con el efecto de la alternancia en la producción; sin embargo, esta asociación fue hecha al correlacionar los compuestos identificados, con los datos de producción de los años 2022 y 2023. Por lo tanto, se propone hacer perfiles químicos por genotipo/año para profundizar en la identificación de compuestos que pudieran ratificar su posible relación con el fenómeno de la alternancia que se presenta en el cultivo del aguacate y que representa un factor fundamental en su potencial productivo.

Finalmente, los genotipos de aguacate de porte bajo F2A5 y F4A7, sobresalieron por su contenido de metabolitos secundarios, potencial productivo y su menor alternancia; sin embargo, para determinar su potencial de explotación comercial es necesario evaluar su comportamiento en diferentes áreas agroecológicas, así como su respuesta de defensa a plagas y enfermedades de importancia económica. Es importante seguir con estudios sobre el perfil lipídico y contenido de aceite; estos últimos, factores fundamentales para que una variedad sea aceptada por los consumidores.

IX. CONCLUSIONES

De acuerdo con las hipótesis, objetivos planteados y las condiciones experimentales utilizadas en esta investigación se concluye lo siguiente:

Los genotipos de aguacate de porte bajo presentaron diferencias en el tipo y concentración de MS en órganos vegetativos y reproductivos.

Un total de 71 metabolitos secundarios fueron identificados: 31 en el tejido foliar y 41 en tejido floral.

Un total de 20 MS fueron identificados por primera vez en genotipos de porte bajo de *Persea americana* Miller: tres en tejido foliar y 17 en tejido floral.

Los genotipos de aguacate de porte bajo presentaron diferencias en su potencial productivo. Con base en el promedio de dos años de producción, el F4A7 presentó el mayor (76.85 kg) rendimiento; en contraste con el genotipo F3A4 (39.65 kg).

De acuerdo con el contenido de MS, el potencial productivo y la alternancia observada, los genotipos de aguacate de porte bajo sobresalientes fueron el F2A5 y el F4A7.

X. LITERATURA CITADA

- Abe F.**, Nagafuji S., Okawa M., Kinjo J., Akahane H., Ogura T., Martínez A.M., y Reyes C.R. (2005). Trypanocidal constituents in plants evaluation of some Mexican plants for their trypanocida activity and active constituents in the sedes of *Persea Americana* (Pharmacognosy). *Biological and Pharmaceutical Bullenti*. 1 (28): 1314-1317.
- Albuquerque M. R. J. R.**, Silveira E. R., De A. Uchôa D. E., Lemos T. L. G., Souza E. B., Santiago G. M. P., & Pessoa O. D. L. (2004). Chemical composition and larvicidal activity of the essential oils from *Eupatorium betonicaeforme* (DC) Baker (*Asteraceae*). *Journal of agricultural and food chemistry*. 52 (22): 6708-6711.
- Alfonso J.A.** (2008). Manual técnico del cultivo del aguacate Hass (*Persea americana* L.). La Lima, Cortés FHIA. 1(1): 1-12. <http://www.avocadosource.com/books/AlfonsoJose> 2008.
- Ali S.**, Plotto, A., Scully B. T., Wood D., Stover E., Owens N and Bai J. (2020). Fatty acid and volatile organic compound profiling of avocado germplasm grown under East-Central Florida conditions. *Scientia Horticulturae*. 261(1): 1-18.
- Alkhalaf M. I.**, Alansari W. S., Ibrahim E. A., & ELhalwagy M. E. (2019). Anti-oxidant, anti-inflammatory and anti-cancer activities of avocado (*Persea americana*) fruit and seed extract. *Journal of King Saud University-Science*. 31 (4): 1358-1362.
- Anaya-Lang A. L.** y Espinosa-García F J. (2006). La química que entreteje a los seres vivos. Ciencias revistas UNAM. 083 (1): 1-10.
- Asawalam E. F.**, Emosairue S. O., & Hassanali A. (2008). Essential oil of *Ocimum grattissimum* (*Labiatae*) as *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: *Curculionidae*) protectant. *African Journal of Biotechnology*. 7 (1): 1-6.
- Ashihara H.**, Crozier A., y Komamine A. (2011). Plant metabolism and biotechnology. Wiley Cambridge. *New York*. 1 (1):1-16.
- Ávalos-García A.**, y Pérez-Urruela. E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología)*. *Serie Fisiológica Vegetal*. 2 (3): 119–145.
- Ayala-Arreola J.**, Barrientos-Priego A. F., Colinas-León M. T., Sahagún-Castellanos J., y Reyes-Alemán J. C. (2010). Relaciones injerto-interinjerto y características anatómicas y fisiológicas de la hoja de cuatro genotipos de aguacate. *Revista Chapingo*. Serie Horticultura. 16 (2): 147-154.
- Barrientos-Priego A. F.**, Sánchez-Colín S., Aguilar-Melchor J. J. y López- Jiménez A. (1992). Selection of Avocado Dwarfing Rootstocks. Proc. of Second World Avocado Congress. 1 (1): 515-520.

- Barrientos-Priego A.** y López-López L. (2002). Historia y genética. Memorias de la fundación Salvador Sánchez Colín. Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Aguacate en el Estado de México. Coatepec de Harinas, México. p. 121.
- Barrientos-Priego A.F.**, y López-López L. (2000). Historia y genética del aguacate. En D. Teliz, y A. Mora. El aguacate y su manejo integrado. Editorial MundiPrensa. 51 pp.
- Battinelli L.**, Daniele C., Cristiani M., Bisignano G., Saija A., & Mazzanti G. (2006). *In vitro* antifungal and anti-elastase activity of some aliphatic aldehydes from *Olea europaea* L. fruit. *Phytomedicine*.13(8):558-563.
- Bergh B. O.** & Whitsell R. H. (1962). A possible dwarfing rootstock for avocados. *California Avocado Society Yearbook*. 46 (1): 55-62.
- Bernal E. J.**, y Díaz D. C. (2008). Tecnología para el cultivo del aguacate. Rionegro, Antioquia, Colombia: *CORPOICA*. 23 (1): 11-41.
- Bonny S.**, Hitti J., Boustie A., Bernard A., y Tomas S. (2009). Optimization of a microwave-assisted extraction of secondary metabolites from crustose lichens with quantitative spectrophotodensitometry analysis. *Journal of Chromatography A*. 216(1):7651–7656.
- Bruckner C. H.**, y Dejong, T. M. (2014). Proposed pre-selection method for identification of dwarfing peach rootstocks based on rapid shoot xylem vessel analysis. *Scientia Horticulturae*. 165 (1): 404-409.
- Cabezas C.**, Hueso J.J., y Cuevas J. (2003). Identificación y descripción de los estados fenológicos- tipo de aguacate (*Persea americana* Mill). Memorias del V Congreso Mundial del aguacate. Michoacán, México. p. 42.
- Cakir A.**, Kordali S., Kilic H., & Kaya E. (2005). Antifungal properties of essential oil and crude extracts of *Hypericum linarioides* Bosse. *Biochemical systematics and ecology*. 33 (3): 245-256.
- Campos-Muzquiz L. G.**, García P. G. D. L., Flores-Gallegos A. C., Castillo-Godina R. G., & Herrera R. R. (2023). Caracterización morfológica y determinación de la diversidad genética de aguacate criollo *Persea americana* Mill de Parras, Coahuila: Aguacate criollo *Persea americana* Mill. *Biotechnia*. 25 (3): 48-54.
- Campuzano-Granados Á. J.**, y Cruz-López L. (2021). Comparative analysis of floral volatiles between the ‘Hass’ variety and Antillean race avocado. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 27 (1): 19-26.
- Canto E. M.**, Tieman, D. M., Sargent, S. A., Klee, H. J., and Huber, D. J. (2013). Volatile profiles of ripening West Indian and Guatemalan-West Indian avocado cultivars as affected by aqueous 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*. 80 (1): 37-46.

- Carman R.M.**, Duffield A.R., Handley P.N., y Karoli T. (2000). Chemistry around the avocado antifungal diene. *ACIAR proceedings*. 1 (1): 186-189.
- Cerdas-Araya M.**, Montero-Calderón M., y Somarribas-Jones O. (2014). Verificación del contenido de materia seca como indicador de cosecha para aguacate (*Persea americana*) cultivar Hass en zona intermedia de producción de Los Santos, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 38 (1): 207-214.
- Cerna-Chávez E.**, Alejandro-Rojas, G., Ochoa-Fuentes Y. M., Aguirre-Uribe L., Landeros-Flores J., y Hernández-Bautista O. (2019). Evaluación in vitro de principios activos de origen botánico para el control de hongos fitopatógenos. *Scientia fungorum*. 1 (1): 1-49.
- Cetin B.**, Özer H., Cakir A., Polat T., Dursun A., Mete E., y Ekinici M. (2010). Antimicrobial activities of essential oil and hexane extract of Florence fennel [*Foeniculum vulgare* var. *azoricum* (Mill.) Thell.] against foodborne microorganisms. *Journal of Medicinal Food*. 13 (1): 196-204.
- Costantin M. B.**, Sartorelli P., Limberger R., Henriques A. T., Steppe M., Ferreira M. J., y Kato M. J. (2008). Essential oils from *Piper cernuum* and *Piper regnellii*: antimicrobial activities and analysis by GC/MS and ¹³C-NMR. *Planta médica*. 67 (08): 771-773.
- Cuca L. E.**, Bernal F. A., Coy C. A., & Coy E. D. (2009). Essential oil composition and antimicrobial activity of fruits of *Iryanthera ulei* W. from Colombia. *Journal of the chilean chemical society*. 54 (4): 363-365.
- Dambolena J. S.**, Zunino M. P., López A. G., Rubinstein H. R., Zygodlo J. A., Mwangi J. W., & Kariuki S. T. (2010). Essential oils composition of *Ocimum basilicum* L. and *Ocimum gratissimum* L. from Kenya and their inhibitory effects on growth and fumonisin production by *Fusarium verticillioides*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 11(2): 410-414.
- Dane D.** (2016). Cultivo de aguacate Hass (*Persea americana* Mill; *Persea nubigena* var. *guatemalensis* x *Persea americana* var. *drymifolia*), plagas y enfermedades durante la temporada de lluvias. *Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*. 50 (1): 1-102.
- Dehgan G.**, Solaimanian R., Shahverdi A. R., Amin G., Abdollahi M., & Shafiee A. (2007). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of *Ferula szovitsiana* DC. *Flavour and fragrance journal*. 22 (3): 224-227.
- Dey N.**, Bhattacharyya T. & Bhattacharjee S. (2023). Decoding the Impact of Drought Stress Induced Redox-Metabolic Shift in Flag Leaf During Grain-Filling Stage on Kernel Aroma Quality and Productivity in Some Indigenous Aromatic Rice Cultivars of West Bengal, India. *J Plant Growth Regul*. 17 (1): 321–331.

- Dineshkumar** S. P., Shashidhar, V. R., Ravikumar R. L., Seetharam A. & Gowda B. T. S. (2002). Identification of true genetic dwarfing sources in foxtail millet (*Setaria italica* Beauv). *Euphytica*. 60 (3): 207-212.
- Dong** W., Dushan Boroyevich and Igor Cvetkovic. (2010). A Two-stage High Power Density Single-phase ac-dc Bi-directional PWM Converter for Renewable Energy System, CPES Conference. 14 (1): 3-11.
- Dreher**, M. L., & Davenport, A. J. (2013). Hass avocado composition and potential health effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 53 (7): 38-50.
- Escalera-Ordaz** A.K. (2015). Variación y distribución geográfica de fenotipos químicos foliares de *Persea americana* Mill var., *drymifolia*. Tesis de Maestría. Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” UMSNH. Uruapan, Michoacán, México. 55 pp.
- Falk** A., Green T.K., y Barboza P. (2008). Quantitative determination of secondary metabolites in *Cladonia stellaris* and other lichens by micellar electrokinetic chromatography. *Journal of Chromatography A*. 118 (2): 141–144.
- 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): 1-24.
- Fernández** A. E. L., Balois-Morales R., Rosales P. U. B., Palomino-Hermosillo Y. A., Lara J. E. B., & Rivas C. E. L. (2021). Extracción de compuestos fitoquímicos de inflorescencia y frutos de guanábana (*Annona muricata* L.). *Acta agrícola y pecuaria*. 7 (1): 1-12.
- Field** B., y Osbourn A. E. (2008). Metabolic diversification independent assembly of operon-like gene clusters in different plants. *Science*. 320 (5875): 543-547.
- Flores-Alvarez** L. J., Guzmán-Rodríguez J. J., López-Gómez R., Salgado-Garciglia R., Ochoa-Zarzosa A., & López-Meza J. E. (2018). PaDef defensin from avocado (*Persea americana* var. *drymifolia*) is cytotoxic to K562 chronic myeloid leukemia cells through extrinsic apoptosis. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. 99 (1): 10-18.
- Fontenelle** R. O. S., Morais S. M., Brito E. H. S., Brilhante R. S. N., Cordeiro R. A., Nascimento N. R. F., y Rocha M. F. G. (2008). Antifungal activity of essential oils of Croton species from the Brazilian Caatinga biome. *Journal of Applied Microbiology*. 104 (5): 1383-1390.
- Fraga** M.B. y Terrero D. (1996). Alkene-lactones and avocadofurans from *Persea indica*: a revision of the structure of majorenolide and related lactones. *Phytochemistry*. 41 (1): 229-232.
- Franco-Sánchez** M. A., Leos-Rodríguez J. A., Salas-González J. M., Acosta-Ramos M., & García-Munguía A. (2018). Análisis de costos y competitividad en la producción de

- aguacate en Michoacán, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 9 (2): 391-403.
- García D.E.** (2004). Los metabolitos secundarios de las especies vegetales. *Pastos y forrajes*. 27 (1): 1-12.
- García-Rojas J. C.,** Robles-Bermúdez A. G., Cambero-Campos O. J., Carvajal-Cazorla C. R., & Peña-Sandoval G. R. (2017). Resistencia metabólica a insecticidas. *Food Chemistry*. 17 (1): 321–331.
- García-Rodríguez Y. M.,** Torres-Gurrola G., Meléndez-González C., & Espinosa-García F. J. (2016). Phenotypic variations in the foliar chemical profile of *Persea americana* Mill. cv. Hass. *Chemistry & biodiversity*. 13(12): 1767-1775.
- Garrido-Torres T.,** y Barrientos-Priego A. (2016). Estudio de algunas características fisiológicas y anatómicas relacionadas con plantas de porte bajo en aguacate. Tesis Doctoral. Ciencias en Horticultura. Chapingo, Estado de México. 100 pp.
- Gatto L.J.,** Fabri N.T., Souza A.M.D., Fonseca N.S.T.D., Furusho A.D.S., Miguel O.G., & Miguel, M.D. (2020). Composición química, potencial fitotóxico, actividades biológicas y propiedades antioxidantes del aceite esencial de *Myrcia hatschbachii* D. Legrand. *Revista Brasileña de Ciencias Farmacéuticas*. 1 (1): 1-56.
- Gomboo M.,** Vitalii S., Fedor K., Mesyef M. y Dmitri S. (2005). Dimerización selectiva de estireno a 1,3-difenil-1-butenos con un sistema catalizador de eterato de trifluoruro de bis(β -dicetonato) paladio/boro. *Revista de Catálisis Molecular A: Química*. 235 (1): 154-160.
- Gómez-López V. M.** (2000). Fruit characterization of venezuelan avocado varieties of medium oil content. *Scientia Agricola*. 57 (4): 791-794.
- Gourine N.,** Yousfi M., Nadjemi B., & Bombarda I. (2009). Chemical composition and antioxidant activity of essential oil of leaves of *Pistacia atlantica* Desf. from Algeria. *Asian Journal of Chemistry*. 21 (2): 1249-1257.
- Guillén-Andrade H.,** Escalera-Ordaz, A., Torres-Gurrola, G., García-Rodríguez, Y., Espinosa García, F. y Tapia-Vargas, L. (2019). Identificación de nuevos metabolitos secundarios en *Persea americana* Miller variedad Drymifolia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 23 (1): 253-265. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2025>.
- Guillén-Andrade H.,** Gómez-Chávez J.L., Vidales-Fernández I., Larios-Guzmán A., Lara-Chávez B.N., y Tapia-Vargas L.M. (2011). Jiménez una variante de la variedad Hass. Morelia, Michoacán, México: Morevallado editores de Morelia. 34 pp.
- Guiop H. H.** (2023). Influencia de *penicillium* toxigénico y no toxigénico en el perfil volátil del café filtrado y del grano verde. Tesis maestría. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. 78 pp.

- Gutiérrez-Contreras** M., Lara-Chávez M. B. N., Guillén-Andrade H., & Chávez-Bárcenas A. T. (2010). Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia*. 35 (9): 647-653.
- Herrera-Gonzales** J.A., Salazar-García S., Martínez-Flores H. E., y Ruiz-García J.E. (2017). Indicadores preliminares de madurez fisiológica y comportamiento postcosecha del fruto de aguacate Méndez. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 40 (1): 1-11.
- Huber** D. P., Gries R., Borden J. H., & Pierce J. H. D. (2000). A survey of antennal responses by five species of coniferophagous bark beetles (*Coleoptera: Scolytidae*) to bark volatiles of six species of angiosperm trees. *Chemoecology*. 10 (1):103-113.
- IPGRI**. (1995). Descriptores para aguacate (*Persea* spp.). Roma, Italia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- ITC-Trade** Map. (2022), lista de los mercados importadores para un producto exportado por México en 2022. <https://www.trademap.org/Index.aspx?lang=es>. Fecha de consulta: 10/12/22.
- Jänes** H., y Pae A. (2003). First results of a dwarfing plum rootstocks trial. *Agronomy Research*. 1(1): 37-44.
- Ji** N. Y., Wen W., Li X. M., Xue Q. Z., Xiao H. L., & Wang B. G. (2009). Brominated selinane sesquiterpenes from the marine brown alga *Dictyopteris divaricata*. *Marine Drugs*. 7 (3): 355-360.
- Julião** L., Bizzo H. R., Souza A. M., Lourenço M. C. S., Silva P. E. A., Tavares E. S., & Leitão S. G. (2009). Essential oils from two *Lantana* species with antimycobacterial activity. *Natural Product Communications*. 4 (12): 1-19.
- Kalaiselvan** A., Gokulakrishnan K., & Anand T. (2012). Gas chromatography-Mass spectrum analysis of bioactive components of the ethanol extract of *Andrographis paniculata*. *J. Pharm. Biomed. Sci*. 16 (1): 1-20.
- Kawagishi** H., Mimaki y Sashida Y. (2002). Abutanolide and phenolics from *Machilus thunbergii*. *Phytochemistry*. 30 (1): 315-319.
- Kim** J. H., Park B. S., Choi W. S., Kim K. H., y Lee S. E. (2000). Monoterpenes from thyme (*Thymus vulgaris*) as potential mosquito repellents. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 21 (1): 80-83.
- Kim** S., Ha T., Kim J., Chang D., & Kim K. (2014). Classification of Korean *Chrysanthemum* species based on volatile compounds using cluster analysis and principal component analysis. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. 57 (6): 789-796.

- Kniemeyer** O., Fischer T., Wilkes H., Glöckner F.O., Widdel F. (2003). Anaerobic degradation of ethylbenzene by a new type of marine sulfate-reducing bacterium. *Appl Environ Microbiol.* 10 (7): 19-44.
- Kolosova** N., Sherman D., Karlson D., & Dudareva N. (2001). Cellular and subcellular localization of S-adenosyl-L- methionine: Benzoic acid carboxyl methyltransferase, the enzyme responsible for bio- synthesis of the volatile ester methylbenzoate in snapdragon flowers. *Plant Physiology.* 126 (3): 956-964.
- Kurade** N. P., Jaitak V., Kaul V. K., y Sharma O. P. (2010). Chemical composition and antibacterial activity of essential oils of *Lantana camara*, *Ageratum houstonianum* and *Eupatorium adenophorum*. *Pharmaceutical Biology.* 48 (5): 539-544.
- Lara-García** C. T., Jiménez-Islas H., & Miranda-López R. (2021). Perfil de compuestos orgánicos volátiles y ácidos grasos del aguacate (*Persea americana*) y sus beneficios a la salud. *Ciencia UAT.* 16 (1): 162-177.
- Lavi** U., Lahav E., Degani C., Gazit S., & Hillel J. (1993). Genetic variance components and heritabilities of several avocado traits. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 118 (3): 400-404.
- Libra-Silva** E y Jasso-Chávez R. (2013). Comparación de los diferentes métodos de análisis cinéticos para determinar el tipo de inhibición de dos compuestos. *Rev. Euc. Bioquím Ciudad de México.* 32 (1): 1665-1995.
- Liu X.**, Sievert J., Arpaia M.L. y Madore M. A. (2002). Postulated physiological roles of the seven-carbon sugars, mannoheptulose, and perseitol in avocado. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 127 (1): 108-114.
- Liu Y.**, Schiff, M., & Dinesh-Kumar S. P. (2002). Virus-induced gene silencing in tomato. *The Plant Journal.* 31(6): 777-786.
- Liu Z.**, Cheema J., Vigouroux M., Hill L., Reed J., Paajanen P., & Osbourn A. (2020). Formation and diversification of a paradigm biosynthetic gene cluster in plants. *Nature Communications.* 11(1): 45-54.
- Loza-Hernández** A. (2015). Situación actual del sistema productor de aguacate. Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía agroalimentaria, Dirección de Estudios Sobre Soberanía Alimentaria y Nueva Ruralidad. CEDRSSA. 12 (1): 1-5.
- Luna G.**, & Morayna F. (2010). Estudio del efecto de los compuestos volátiles emitidos por distintas rizobacterias en la homeostasis de auxinas y en la morfogénesis de la raíz de *Arabidopsis thaliana*). *Interciencia.* 42 (3): 175-180.
- Machado** L. A., Silva V. B., & Oliveira M. D. (2007). Uso de extratos vegetais no controle de pragas em horticultura. *Biológico, São Paulo.* 69 (2): 03-106.

- Maia** A. I. V., Torres M. C. M., Pessoa O. D. L., de Menezes J. E. S., Costa S. M. O., Nogueira V. L. R., & Albuquerque M. R. J. R. (2010). Óleos essenciais das folhas de *Vernonia remotiflora* e *Vernonia brasiliana*: composição química e atividade biológica. *Quimica Nova*. 33 (1): 584-586.
- Maldini** M., Montoro P., Kapusta I., Oleszek W., Piacente S. y Pizza., C. (2009). Quantitative Analysis of Caffeoylquinic Acids and Styrylpyrones in *Sweetia panamensis* Bark by UPLC Chromatographia. *Journal of Horticultural and Forestry*. 70 (1): 621–1626.
- Martinez** E. (2022). Evaluación fenotípica de variantes de aguacate variedad hass. Tesis de Maestría. Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” UMSNH. Uruapan, Michoacán, México. 180 pp.
- Mellon** M. E., Castillo F. D., Arizpe A., Gallego G., & de Rodríguez D. J. (2011). Actividad Fungicida de Extractos de *Cowania plicata* D. Don. Contra *Fusarium oxysporum* Schlechtend. Fr. y de *Pistacia lentiscus* L. contra *Colletotrichum coccodes* Wallr. *Journal of Horticultural and Forestry*. 8(1): 1-25.
- Mena-Linare** Y., Mosquera-González M., Díaz-Valido A., Espín-Pizarro A., Orestes Castillo A., Román-Escobar R. (2016). Estudios fitoquímicos de extractos de hojas de *Cnidioscolus chayamansa* Mc Vaugh (Chaya). *Rev. Cubana Plant Med*. 21 (4): 151-159.
- Moghadam** E. G., & Shabani Z. (2014). The relation of endogenous abscisic acid and indole acetic acid on vigor of some selected dwarf mahaleb (*Prunus mahaleb* L.) genotypes. *Journal of Horticultural and Forestry*. 6 (11): 107-111.
- Montero-Recalde** M., Mira J. C., Avilés-Esquivel D., Pazmiño-Miranda P., & Erazo-Gutiérrez R. (2018). Eficacia antimicrobiana del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) sobre una cepa de *Staphylococcus aureus*. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 29 (2): 588-593.
- Montes-Hernández** S., de la Torre-Vizcaino J. D., Heredia-García E., Hernández-Martínez M., & Camarena-Hernández M. G. (2017). Caracterización morfológica de germoplasma de aguacate mexicano (*Persea americana* var. *drymifolia*, Lauraceae). *Interciencia*. 42 (3): 175-180.
- Morales** F., Cardona C., Bueno J., Rodríguez I. (2006). Manejo de enfermedades de planta causada por virus transmitidos por moscas blancas. Centro de agricultura tropicales publicación. *CIATISBN*. 085 (3): 958-694.
- Morales** G. J., Mendoza L. M., Coria A. V., Aguirre M. J., Sánchez P. J., Vidales F. J., Tapia V. L., Hernández R. G., Alcántar R. J. (2008). Tecnología de Producción de Aguacate en Michoacán, México. *Revista Ciencias de la ingeniería y tecnología*. 45 (1): 1-32.
- Muñoz** G. G., Cruz A., & Ortega T. D. J. A. (2018). Inhibición del crecimiento de bacterias fitopatógenas de isotioureacarboxilatos de benzotiazol derivados de α -aminoácidos. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 98 (2): 151-157.

- Myers S.C.**, Savelle A.T., Tustin D.S. y Byers R.E. 2002. Partial flower thinning increases shoot growth, fruit size, and subsequent flower formation of peach. *HortScience*. 37(1): 647- 650.
- Navarro A.**, Herrera J., Marrugo J., Bayona J., & Morales L. (2014). Microcontaminantes orgánicos en los ríos de México: El caso del río Nexapa. *Ciencias de la ingeniería y tecnología*. 11 (1): 49-63.
- Niinemets Ü.**, Loreto F., & Reichstein M. (2004). Physiological and physicochemical controls on foliar volatile organic compound emissions. *Trends in plant science*. 9 (4): 180-186.
- Noemí A. R. C.**, Vázquez R. R., Horcasitas M. D. C. M., Vargas J. P., Guzmán O. G., & Calva G. C. (2008). Hidrocarburos Aromaticos y Fenilpropanoides Resumen Presentes en la Rizosfera de Plantas de *Cyperus laxus* Crecido en Suelos Contaminados con Hidrocarburos. *TecnoCultura*. 43 (1): 1-42.
- Oberline N. H.**, Rogers L. L., Martin J. M., y McLaughlin J.L. (1998). Cytotoxic and insecticidal constituents of the unripe fruit of *Persea Americana*. *Journal of Natural Products*. 61 (1): 781-785.
- Ochoa B. R.**, y Ortega R. C. (2002). El aguacate mexicano frente a la apertura del mercado norteamericano. *Claridades Agropecuarias*. 110 (1): 3-20.
- Ogunbinu A. O.**, Ogunwande I. A., Essien E., Cioni P. L., y Flamini G. (2007). Sesquiterpenes-rich essential oils of *Polyalthia longifolia* Thw. (*Annonaceae*) from Nigeria. *Journal of Essential Oil Research*. 19 (5): 419-421.
- Owolabi M.S.**, Oladimeji M.O., Lajide L., Singh G., Marimuthu P., y Isidorov V.A. (2009). Bioactivity of three plant derived essential oils against the maize weevils *sitophilus zeamais* (motschulsky) and cowpea weevils *callosobruchus maculatus* (fabricius). *Journal of Environmental, agricultural and Food Chemistry*. 8 (1): 828-835.
- Palomino M. P.**, y Fermina M. (2021). Entobotánica de las plantas medicinales del sector la colpa, de Sarín, Sánchez Carrión la libertad. *Natural Product Communication*. 47 (6): 529-537.
- Paredes P.** (2008). Matemáticas y Estadística. *La provincia de Buenos Aires*. 12 (1): 1-6.
- Pérez E.**, H. A. (2019). Contribución al estudio químico del aceite esencial de *Plectranthus madagascariensis* (Pers) Benth (Lamiaceae), cultivada en Colombia. *Revista Brasileira* .19 (3): 771-775.
- Pérez-Santana D.**, Pérez J. C., & Pino J. A. (2020). Caracterización de los compuestos volátiles de la cascarilla del grano de cacao tostado. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. 30 (3): 15-23.

- Petrović S.**, Pavlović M., Maksimović Z., Milenković M., Couladis M., Tzakou O., & Niketić M. (2009). Composition and antimicrobial activity of *Marrubium incanum* Desr. (Lamiaceae) essential oil. *Natural product communications*. 4 (3): 431-434.
- Quijano C. C. E.** (2011). Estudios de la composición de volátiles y su evolución durante la deshidratación osmótica de la guayaba palmira ica-1 (*Psidium guajava* L.). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de València. 130 pp.
- Quintero Morales, D.**, Hidalgo Sánchez A. J., & Quintero Morales, d. A. N. (2015). Metabolitos secundarios producidos por enterobacterias de suelo y su actividad contra *Fusarium oxysporum* y *Phytophthora capsici*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Puebla. 112 pp.
- Ramos M. D.**, Jerz G., Villanueva S., Lopez D. F., Waibel R., y Winterhalter P. (2004). Two glucosylated abscisic acid derivatives from avocado seeds (*Persea americana* Mill. Lauraceae cv Hass). *Phytochemistry*. 65 (1): 955-962.
- Rebolledo A.**, y Romero M. A. (2011). Avances en investigación sobre el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) bajo condiciones subtropicales. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 12 (2): 113-120.
- Reddy M.**, Moodley R., & Jonnalagadda S. B. (2012). Fatty acid profile and elemental content of avocado (*Persea americana* Mill.) oil effect of extraction methods. *Journal of Environmental Science and Health*. 47 (6): 529-537.
- Reyes J. A.**, Patiño J. G., Martínez J. R., & Stashenko E. E. (2007). Caracterización de los metabolitos secundarios de dos especies de *Ocimum* (Fam. Labiatae), en función del método de extracción. *Scientia et Technica*. 13 (33): 121-123.
- Rincón-García G.**, Stashenko-Jaramillo B. E., & Martínez-López J. R. (2003). Comparación de la composición química y de la actividad antioxidante *in vitro* de los metabolitos secundarios volátiles de plantas de la familia Verbenaceae. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 27(105): 579-597.
- Rodríguez B. L. D. P.**, & Hidalgo Sánchez A. J. (2019). Obtención del aceite esencial de hojas de *Aristolochia sylvatica*, determinación de sus constituyentes químicos por cromatografía de gases de alta resolución-espectrometría de masas. *Chem, Ecol.* 98 (2): 151-157.
- Rodríguez-González A.** (2011). Caracterización fenotípica de progenies de aguacate (*Persea americana* Mill.) criollo de Michoacán. Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Uruapan, Michoacán, México. 112 pp.
- Rosales A. R. L.** (2017). Potencial de cepas de microalgas aisladas de la costa de Yucatán para la producción de biodiesel. Tesis Doctoral. Centro de Investigación Científica Yucatán México. 121 pp.

- 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.
- Salazar-García S.**, y Lazcano-Ferrat I. (1999). Diagnóstico nutrimental del aguacate 'Hass' bajo condiciones de temporal. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 5 (1): 173-184.
- Sanches-Colín S. S.**, White M., & Torres E. D. C. (1992). The avocado breeding and selection program at CICTAMEX. *Agricultural Journal*. 3(1):501-504.
- Sánchez S. C.**, Mijares O. P., López L. L., Barrientos P. A. F. (2013). Historia del aguacate en México. *Fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo*. 45 (1): 171-187.
- Sánchez-Cervantes M.**, López-Jiménez A., Cortes Flores J. I., y Cruz-Hernández J. P. (2021). Efecto del portainjerto por aproximación en el estatus nutrimental del manzano 'Brookfield Gala'. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 12 (4): 591-602.
- Sánchez-Pérez J.** (1999). Recursos genéticos del aguacate (*Persea americana* Mill.) y especies afines en México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 5 (101): 7-18.
- Santiago-Pérez C.** (2020). Identificación y comportamiento del anillamiento del pedúnculo del fruto de aguacate (*Persea americana* Mill). *Bachelor's*. 67 (1): 75-101.
- SAS®.** (2023). SAS® OnDemand para académicos. Obtenido de SAS® Studio: https://odamid-usw2.oda.sas.com/SASStudio/main?locale=es_ES&zone=GMT05%253A00&ticket=ST-181864-xZzmBrvXnYPZKq9JbT0-cas fecha de consulta: 05/10/23.
- Sayah F.**, Hernández S. R., & Juárez A. N. (2014). Bioactividades del extracto clorofórmico de bulbos de *Sprekelia formosissima*. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*. 21(2):1-45.
- Sayyah M.**, Nadjafnia L., & Kamalinejad M. (2004). Anticonvulsant activity and chemical composition of *Artemisia dracunculus* L. essential oil. *Journal of ethnopharmacology*. 94 (2-3): 283-287.
- Scarpatti M. L.**, Scalzo R. L., & Vita G. (1993). *Olea europea* volatiles attractive and repellent to the olive fruit fly (*Dacus oleae*, Gmelin). *J. Chem, Ecol.* 19 (1): 881-891.
- Schaffer B.**, Whiley A.W. (2007). Fisiología ambiental. El Palto Botánica, Producción y Usos. *Ediciones Universitarias de Valparaíso Chile*. 145 (71): 133-154.
- Scott E.R.**, Li X., Kfoury N., Morimoto J., Han W.Y, Ahmed S., y Orians, CM (2019). Efectos interactivos de la gravedad de la sequía y la herbivoría simulada sobre los metabolitos volátiles y no volátiles del té (*Camellia sinensis*). *Botánica Ambiental y Experimental*. 157 (1): 283-292.
- Seleznayova A. N.**, Thorp T. G., White M., Tustine S. & Costes E. (2003). Application of Architectural Analysis and AMAPmod Methodology to Study Dwarfing

Phenomenon: the Branch Structure of 'Royal Gala' Apple Grafted on Dwarfing and Non-dwarfing Rootstock/Interstock Combinations. *Annals of Botany*. 91 (1): 665-672.

Senthilkumar A., Kannathasan K., & Venkatesalu V. (2008). Chemical constituents and larvicidal property of the essential oil of *Blumea mollis* (D. Don) Merr. against *Culex quinquefasciatus*. *Parasitology research*. 103 (1): 959-962.

Shi S, Luo Y, Ma Y, Chu Y, Wang Y, Chen X, Chu Y. (2021). Identification of *in vitro-in vivo* components of Caoguo using accelerated solvent extraction combined with gas chromatography-mass spectrometry integrated with network pharmacology on indigestion. *Ann Transl Med*. 9 (15): 12-47.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022). Avance de Siembras y cosechas. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/. Fecha de consulta: 10/10/2023

SIAP. (2022). Atlas Agroalimentario (Primera ed.). México: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 54 p.

Singh G., Singh O. P., De Lampasona M. P., & Catalan C. A. (2003). Studies on essential oils. Part 35: chemical and biocidal investigations on *Tagetes erecta* leaf volatile oil. *Flavour and Fragrance Journal*. 18 (1): 62-65.

Smith C. E. (1996). Archeological evidence for selection in avocado. *Economic Botany*. 20 (2): 169-175.

Sorce C., Massai R., Picciarelli P., & Lorenzi R. (2002). Hormonal relationships in xylem sap of grafted and ungrafted *Prunus* rootstocks. *Scientia Horticulturae*. 93 (3-4): 333-342.

Souza T. J., Apel M. A., Bordignon S., Matzenbacher N. I., Zuanazzi J. Â. S., & Henriques A. T. (2007). Composição química e atividade antioxidante do óleo volátil de *Eupatorium polystachyum* DC. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 17 (1): 368-372.

Stashenko E. E., Jaramillo B. E., & Martínez J. R. (2003). Comparación de la composición química y de la actividad antioxidante *in vitro* de los metabolitos secundarios volátiles de plantas de la familia Verbenaceae. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*. 27 (105): 579-597.

Su Y.C., Hsu K.P., Wang E.I.C., y Ho C.L. (2015). Composición, actividades citotóxicas y antimicrobianas *in vitro* del aceite esencial de flor de *Diospyros discolor* de Taiwán. *Comunicaciones de productos naturales*. 10 (7): 19-44.

Sylvestre M., Pichette A., Longin A., Martin M.S., Bercion S.R., y Legault J. (2007). *Natural Product Communications*. 2 (1): 1269-1272.

- Teliz-Ortíz D.**, Mora-Aguilera G., y Morales-García L. (2000). Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. En el aguacate y su manejo integrado. Editores Mundiempresas. 154 pp.
- Tofiño A.**, Cabal D., y Gil L. F. (2012). Análisis de componentes del sistema productivo de aguacate, con incidencia probable de *Phytophthora* en Cesar, Colombia. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 06 (2): 69-90.
- Torres-Gurrola G.**, García-Rodríguez Y. M., Lara-Chávez Ma. B. N., Guillén-Andrade H., Delgado G., y Espinosa-García F. J. (2016). Ecología química y alelopatía: avances y perspectivas. Capítulo 5: análisis de la riqueza de metabolitos secundarios de *Persea* spp. Bajo algunas hipótesis que proponen explicar la función de la diversidad fitoquímica. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). ISBN: 1 (1): 195-292.
- 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 (1): 19-30.
- Vargas M. Y. S.** (2022). Caracterización de variedades e híbridos de arroz bajo condiciones controladas para tolerancia a altas temperaturas y sequía. Tesis de Licenciatura. Universidad de Córdoba Facultad de Ciencias Agrícolas programa de Ingeniería Agronómica Montería. 58 pp.
- Vidales J.A.**, Anguiano C. J., Alcántar J. J., Toledo B. R., y Tapia, L. M. (2007). Caracterización edafoclimática del área productora de aguacate de Michoacán, México. *Revista especializada en ciencias Agronomicas*. 1 (1): 1-13.
- Viteri A.**, Cordero, E. V. y Longin A. (2010). Análisis del sector forestal en el contexto de adaptación y mitigación al cambio climático del sector uso de suelo, cambio de suelo, y silvicultura (forestal) en el Ecuador. *Ecuador UNDP*. 27 (105): 579-597.
- Wang C. T.**, Buck E. J., Gardiner S. E., Dai H., y Jia Y. (2011). Genetic Mapping of PcDw Determining Pear Dwarf Trait. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 136 (1): 48-53.
- Webster B.**, Bruce T., Dufour S., Birkemeyer C., Birkett M., Hardie J., & Pickett J. (2008). Identification of volatile compounds used in host location by the black bean aphid, *Aphis fabae*. *Journal of chemical ecology*. 34 (1): 1153-1161.
- Whiley A. W.**, Saranah J. B., Cull B. W., & Pegg K. G. (1988). Manage avocado tree growth cycles for productivity gains. *Queensland Agricultural Journal*. 114 (1): 29-36.
- Wolkowitz O. M.**, Mellon S. H., Epel E. S., Lin J., Dhabhar F. S., Su Y. & Blackburn E. H. (2011). Leukocyte telomere length in major depression: correlations with chronicity, inflammation and oxidative stress-preliminary findings. *PloS one*. 6 (3): 7837-7845.
- Wolstenholme B. N.** (2007). Ecología: El clima y el ambiente edáfico, el palto botánica, producción y Usos. *Revista Universitarias de Valparaiso, Chile*. 45 (1): 1-25.

- Yoon** M.A., Jeong T.S., Park D.S., Xu M.Z., Oh H.W., Song K.B., y Park H.Y. (2006). Efectos antioxidantes de los alcaloides de quinolina y 2, 4-di-terc-butilfenol aislados de *Scolopendra subspinipes*. *Boletín Biológico y Farmacéutico*. 29 (4): 735-739.
- Zhang** Y. J., Zhang X., Chen C. J., Zhou M. G., & Wang H. C. (2007). Effects of fungicides JS399-19, azoxystrobin, tebuconazole, and carbendazim on the physiological and biochemical indices and grain yield of winter wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 98 (2): 151-157.