

Comparative analysis of floral volatiles between the 'Hass' variety and Antillean race avocado

Análisis comparativo de los volátiles florales entre la variedad de aguacate 'Hass' y la raza Antillana

Álvaro J. Campuzano-Granados; Leopoldo Cruz-López*

El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Grupo de Ecología de Artrópodos y Manejo de Plagas.
Carretera Antigua Aeropuerto km 2.5, Tapachula, Chiapas, C. P. 30700, MÉXICO.

*Corresponding author: lcruz@ecosur.mx

Abstract

Mexico is the world's leading producer of 'Hass' avocado and the Antillean race avocado is grown in the south of the country. Avocado plant flowers produce a great variety of volatile compounds, which act as chemical signals to attract herbivores and pollinating insects, in addition to providing information for taxonomic purposes. The research aim was to identify and compare the floral volatiles between the 'Hass' and Antillean race avocado. Floral volatiles were captured by solid-phase microextraction, and identification was made by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS). Thirty-five compounds were identified as constituents of the flower aromas; most were monoterpenes and sesquiterpenes. α -Pinene, sabinene, β -pinene, (E)-linalool oxide, benzyl nitrile, lavandulol, methyl salicylate, α -copaene, β -gurjunene and γ -muurolene were only found in 'Hass' avocado flowers. The differences can help classify the two types of avocados analyzed into different races. Eventually, this information could be used to find out if these volatile compounds influence the interactions of avocado with its pollinating insects and herbivores.

Keywords: *Persea americana*, taxonomy, solid-phase microextraction, gas chromatography-mass spectrometry, terpenes.

Resumen

México es el principal productor a nivel mundial de aguacate 'Hass', y en el sur del país se cultiva aguacate de la raza Antillana. Las flores de las plantas de aguacate producen una gran variedad de compuestos volátiles, los cuales actúan como señales químicas para atraer herbívoros e insectos polinizadores, además de proporcionar información para fines taxonómicos. El objetivo de este trabajo fue identificar y comparar los volátiles florales entre el aguacate 'Hass' y el de raza Antillana. La captura de los volátiles de las flores se realizó por microextracción en fase sólida, y la identificación se realizó por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (CG-EM). Se identificaron 35 compuestos como constituyentes de los aromas florales; la mayoría fueron monoterpenos y sesquiterpenos. α -Pineno, sabineno, β -pineno, (E)-óxido de linalool, nitrilo de bencilo, lavandulol, salicilato de metilo, α -copaeno, β -gurjuneno y γ -muuroleno se encontraron únicamente en las flores de aguacate 'Hass'. Las diferencias pueden ayudar a clasificar en diferentes razas los dos tipos de aguacates analizados. Eventualmente, esta información se podría utilizar para conocer si estos compuestos volátiles influyen en las interacciones del aguacate con sus herbívoros e insectos polinizadores.

Palabras clave: *Persea americana*, taxonomía, microextracción en fase sólida, cromatografía de gases-espectrometría de masas, terpenos.



Introduction

Mexico is considered the center of origin of the Mexican avocado (*Persea americana* Mill) race, although the Antillean race is also cultivated in the south of the country (Can-Alonzo et al., 2005). Likewise, Mexico is the world's leading producer of 'Hass' avocado, with a volume of 2 million 29 thousand tons in 2017 (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2019).

Avocado floral volatiles provide chemical signals to phytophagous and pollinating insects to locate food sources, habitats and oviposition sites (Bruce, Wadhams, & Woodcock, 2005; Sanders & van Doorn, 2004), in addition to providing taxonomic information on the species (Kim, Ha, Kim, Chang, & Kim, 2014). The chemical composition of these volatiles depends on the species, variety, physiological state and circadian rhythm of the plants (Kolosova, Sherman, Karlson, & Dudareva, 2001; Niinemets, Loreto, & Reichstein, 2004). In Mexico, avocado flowering periods depend on race, variety, climatic conditions and elevation. For example, the 'Hass' avocado flowering period is 85 days at 12 to 17 °C, and decreases to 15 days at 28 to 33 °C (Sanders & van Doorn, 2004). This period is similar to that of the Antillean race; however, it is shorter in temperate zones (Can-Alonzo et al., 2005).

In the state of Chiapas, Mexico, the commercial 'Hass' avocado is mainly grown in the uplands, and the Antillean race avocado is cultivated in the subtropical Soconusco (coast) region. There is little information on the aroma chemistry of the different phenological stages among avocado races and varieties. Therefore, the aim of this study was to identify and compare the floral volatiles of the 'Hass' and Antillean race avocados. This information could be useful for taxonomic purposes, and could eventually be used to find out if these volatile compounds influence the interactions of avocado with its pollinating and herbivorous insects.

Materials and methods

'Hass' avocado flowers were collected in orchards located in the municipalities of Margaritas (16° 18' 1" NL and 91° 57' 18" WL) and Comitán de Domínguez (16° 16' 58.3" NL and 92° 1' 59.7" WL), Chiapas, Mexico, which have an average temperature of 19.5 °C and an elevation of 1,600 masl. The Antillean race flowers were collected from trees in Canton Texcuntic, municipality of Frontera Hidalgo (14° 47' 41.13" NL and 92° 11' 14.5" WL) and in the municipality of Tuxtla Chico (14° 54' 21" N, 92° 13' 43.4" W), Chiapas, where the average temperature is 27 °C and the elevation is 92 masl. The collections were carried out between November and December 2018. These two types of avocado were selected due to their commercial importance in the region.

Introducción

México se considera el centro de origen del aguacate de raza Mexicana (*Persea americana* Mill), aunque en el sur del país también se cultiva la raza Antillana (Can-Alonzo et al., 2005). Asimismo, México es el principal productor a nivel mundial de aguacate 'Hass', con un volumen de 2 millones 29 mil toneladas en 2017 (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2019).

Los volátiles de las flores de aguacate proporcionan señales químicas a los insectos fitófagos y polinizadores para localizar las fuentes de alimento, hábitats y sitios de oviposición (Bruce, Wadhams, & Woodcock, 2005; Sanders & van Doorn, 2004), además de proporcionan información taxonómica de las especies (Kim, Ha, Kim, Chang, & Kim, 2014). La composición química de estos volátiles depende de la especie, la variedad, el estado fisiológico y el ritmo circadiano de las plantas (Kolosova, Sherman, Karlson, & Dudareva, 2001; Niinemets, Loreto, & Reichstein, 2004). En México, los periodos de floración del aguacate dependen de la raza, variedad, condiciones climáticas y altitud. Por ejemplo, el periodo de floración del aguacate 'Hass' es de 85 días a una temperatura de 12 a 17 °C, y disminuye a 15 días a una temperatura de 28 a 33 °C (Sanders & van Doorn, 2004). Dicho periodo es similar al de la raza Antillana; sin embargo, es más corto en zonas templadas (Can-Alonzo et al., 2005).

En el estado de Chiapas, México, se cultiva principalmente el aguacate comercial 'Hass' en la zona alta, y en la región subtropical del Soconusco (costa) se cultiva el aguacate de la raza Antillana. Existe poca información sobre la química del aroma de las diferentes etapas fenológicas entre razas y variedades de aguacate. Por ello, el objetivo de este estudio fue identificar y comparar los volátiles florales entre el aguacate 'Hass' y el de raza Antillana. Esta información podría ser útil para fines taxonómicos, y eventualmente se podría utilizar para saber si estos compuestos volátiles influyen en las interacciones del aguacate con sus insectos polinizadores y herbívoros.

Materiales y métodos

Se recolectaron flores de aguacate 'Hass' en huertos ubicados en los municipios de Las Margaritas (16° 18' 1" latitud norte y 91° 57' 18" longitud oeste) y Comitán de Domínguez (16° 16' 58.3" latitud norte y 92° 1' 59.7" longitud oeste), Chiapas, los cuales presentan una temperatura promedio de 19.5 °C y una altitud de 1,600 msnm. Las flores de la raza Antillana se recolectaron en árboles del Canton Texcuntic, municipio de Frontera Hidalgo (14° 47' 41.13" latitud norte y 92° 11' 14.5" longitud oeste) y en el municipio de Tuxtla Chico (14° 54' 21" latitud norte, 92° 13'

The volatiles were captured using the solid-phase microextraction technique. For this, 100 g of flowers were placed in 12 mL glass vials. The vial inlet was covered with aluminum foil and a 65 μm thick polydimethylsiloxane/divinylbenzene (PDMS/DVB) fiber (Supelco®, Mexico) was inserted into it, for a period of 16 h. The procedure was similar for the 'Hass' and Antillean avocado flowers, and five replications were performed in both cases.

The identification of the volatiles captured by the PDMS/DVB fiber was performed in a gas chromatograph (CP-3800, Varian, USA) coupled to a selective mass detector (Saturn 2200, Varian, USA). A methyl silicon column (DB5-MS) of 30 m in length by 0.25 mm in inner diameter, with helium as carrier gas, was used for the determination. The samples were injected in splitless mode and the temperature program used was: initial temperature of 50 °C (2 min) to a final temperature of 280 °C (2 min), with an increase of 15 °C per min. The volatile analysis was performed with the Saturn GC/MS Workstation software. Preliminary identification of the compounds was made by comparing retention time and mass spectrum with the NIST 2002 spectral library; later, they were confirmed with the synthetic standards. The relative abundance of the components was calculated considering the peak area of all of them.

Statistical analysis

Peak areas of floral compounds identified in 'Hass' and Antillean avocado were subjected to a principal component analysis (PCA), in which the correlation matrix was used to determine the compounds with the highest incidence in the two varieties. Differences in volatiles between varieties were tested by constructing confidence ellipses ($\alpha = 0.05$). Confidence ellipses around the centroids allow observing the variation within the groups: similar correlation matrices denote a similar shape, while those having a common mean must overlap. Before the PCA, data were rescaled to have zero mean and one standard deviation, which reduces the influence of variables with very high or low magnitudes, in addition to normalizing the data (McCune & Grace, 2002). The statistical analysis was conducted with the R v3.6.3 software (R Core Team, 2020).

Results and discussion

Thirty-five volatiles were identified in 'Hass' and Antillean avocado flowers, which are mostly monoterpenes and sesquiterpenes. The average values of the percentage compositions are shown in Table 1, where linalool was the most abundant compound (30 %) in the Antillean race, while in 'Hass' the most abundant was (E)- β -ocimene (20 %).

43.4" longitud oeste), Chiapas, en donde la temperatura promedio es de 27 °C y la altitud es de 92 msnm. Las recolectas se realizaron entre noviembre y diciembre de 2018. Se seleccionaron estos dos tipos de aguacate debido a su importancia comercial en la región.

La captura de los volátiles se realizó por la técnica de microextracción en fase sólida. Para ello, se colocaron 100 g de flores en viales de vidrio de 12 mL. La entrada del vial se cubrió con papel aluminio y se le insertó una fibra de polidimetilsiloxano/divinilbenceno (PDMS/DVB) (Supelco®, México) de 65 μm de espesor, por un periodo de 16 h. El procedimiento fue similar para las flores de aguacate 'Hass' y Antillana, y se realizaron cinco repeticiones en ambos casos.

La identificación de los volátiles capturados por la fibra de PDMS/DVB se realizó en un cromatógrafo de gases (CP-3800, Varian, EUA) acoplado a un detector selectivo de masas (Saturn 2200, Varian, EUA). Para la determinación, se empleó una columna de metil silicona (DB5-MS) de 30 m de longitud por 0.25 mm de diámetro interior, y helio como gas acarreador. Las muestras se inyectaron en modo "splitless" y el programa utilizado fue: temperatura inicial de 50 °C (2 min) hasta una temperatura final de 280 °C (2 min), con incremento de 15 °C por min. El análisis de los volátiles se realizó con el programa Saturn GC/MS Workstation. La identificación preliminar de los compuestos se efectuó mediante la comparación del tiempo de retención y el espectro de masas con la biblioteca espectral NIST 2002; posteriormente, se confirmaron con los estándares sintéticos. La abundancia relativa (%) de los componentes se calculó considerando el área de los picos de todos los compuestos.

Análisis estadístico

Los resultados de las áreas de los compuestos florales identificados en aguacate 'Hass' y Antillana se sometieron a un análisis de componentes principales (ACP), en el que se utilizó la matriz de correlación para determinar los compuestos de mayor incidencia en las dos variedades. Las diferencias de los volátiles entre variedades se probaron mediante la construcción de elipses de confianza ($\alpha = 0.05$). Las elipses de confianza alrededor de los centroides permiten observar la variación dentro de los grupos: matrices de correlación similares denotan una forma similar, mientras que al presentar una media común, éstas deben superponerse. Previo al ACP, los datos se reescalaron para tener media cero y desviación estándar uno, lo que reduce la influencia de variables con magnitudes muy altas o bajas, además de normalizar los datos (McCune & Grace, 2002). El análisis estadístico se realizó con el programa R v3.6.3 (R Core Team, 2020).

Table 1. Mean relative abundance ($\pm$ standard error) of 'Hass' and Antillean avocado floral volatiles.Cuadro 1. Abundancia relativa media ($\pm$ error estándar) de volátiles florales de aguacate 'Hass' y Antillana.

Number/ Número	Compound name/ Nombre del compuesto	RI/IR	Abundance (%) / Abundancia (%)	
			Antillean / Antillana	'Hass'
1	α -Pinene* / α -Pineno*	927	0.00	0.39 $\pm$ 0.05
2	Sabinene / Sabineno	970	0.00	0.36 $\pm$ 0.36
3	β -Pinene* / β -Pineno*	977	0.00	0.43 $\pm$ 0.08
4	β -Myrcene* / β -Mirceno*	985	0.93 $\pm$ 0.57	3.45 $\pm$ 0.07
5	Limonene* / Limoneno*	1031	0.25 $\pm$ 0.08	0.49 $\pm$ 0.08
6	(Z)- β -Ocimene* / (Z)- β -Ocimeno*	1034	1.45 $\pm$ 0.20	3.16 $\pm$ 0.81
7	(E)- β -Ocimene* / (E)- β -Ocimeno*	1045	9.99 $\pm$ 2.07	20.82 $\pm$ 3.92
8	(E)-Linalool oxide* / (E)-Oxido de linalool*	1078	0.00	0.30 $\pm$ 0.07
9	(Z)-Linalool oxide* / (Z)-Oxido de linalool*	1093	3.98 $\pm$ 1.08	1.97 $\pm$ 0.40
10	Linalool* / Linalool*	1105	30.30 $\pm$ 6.05	0.43 $\pm$ 0.04
11	Perylene (isomer) / Perilleno (isómero)	1117	24.36 $\pm$ 5.45	9.33 $\pm$ 4.76
12	Benzyl nitrile / Nitrilo de bencilo	1151	0.00	1.91 $\pm$ 0.63
13	Lavandulol / Lavandulol	1170	0.00	0.43 $\pm$ 0.07
14	Butyl caproate / Caproato de butilo	1193	7.65 $\pm$ 2.27	0.00
15	Methyl salicylate* / Salicilato de metilo*	1206	0.00	2.74 $\pm$ 0.72
16	<i>n</i> -Tridecane* / <i>n</i> -Tridecano*	1300	2.51 $\pm$ 1.45	0.36 $\pm$ 0.08
17	α -Copaene* / α -Copaeno*	1362	0.00	2.41 $\pm$ 0.43
18	β -Cubebene* / β -Cubebeno*	1389	0.84 $\pm$ 0.20	1.94 $\pm$ 0.35
19	β -Gurjunene / β -Gurjuneno	1405	0.00	2.03 $\pm$ 0.60
20	β -Caryophyllene* / β -Cariofileno*	1443	3.62 $\pm$ 1.04	13.98 $\pm$ 1.22
21	γ -Muurolene / γ -Muuroleno	1447	0.00	0.55 $\pm$ 0.08
22	Valencene / Valenceno	1480	0.44 $\pm$ 0.10	1.58 $\pm$ 0.41
23	β -Guaiene / β -Guaieno	1494	1.04 $\pm$ 0.14	1.54 $\pm$ 0.34
24	<i>n</i> -Pentadecane* / <i>n</i> -Pentadecano*	1500	0.41 $\pm$ 0.20	2.40 $\pm$ 0.52
25	γ -Cadinene / γ -Cadineno	1506	0.73 $\pm$ 0.30	12.85 $\pm$ 4.07
26	β -Cadinene / β -Cadineno	1535	1.45 $\pm$ 0.30	2.75 $\pm$ 0.58
27	Dendrasaline / Dendrasalina	1583	2.27 $\pm$ 1.21	1.34 $\pm$ 0.93
28	<i>n</i> -Hexadecane* / <i>n</i> -Hexadecano*	1600	0.29 $\pm$ 0.06	0.27 $\pm$ 0.04
29	8-Hexadecine / 8-Hexadecino	1663	0.00	0.53 $\pm$ 0.05
30	Cyclohexadecane / Ciclohexadecano	1669	0.00	2.57 $\pm$ 0.48
31	<i>n</i> -Heptadecane* / <i>n</i> -Heptadecano*	1700	0.85 $\pm$ 0.18	3.36 $\pm$ 0.53
32	<i>n</i> -Nonadecane* / <i>n</i> -Nonadecano*	1900	2.53 $\pm$ 0.81	2.77 $\pm$ 0.70
33	<i>n</i> -Icosane* / <i>n</i> -Icosano*	2000	1.85 $\pm$ 0.51	0.00
34	<i>n</i> -Heneicosane* / <i>n</i> -Heneicosano*	2100	1.54 $\pm$ 0.30	0.50 $\pm$ 0.05
35	<i>n</i> -Docosane* / <i>n</i> -Docosano*	2200	0.730.18	0.05 $\pm$ 0.01

RI = retention index.* Compounds confirmed with synthetic standards.

IR = índice de retención.* Compuestos confirmados con estándares sintéticos.

The PCA between the compounds of the two varieties explains 66.1 % of the total variability of the data, which denotes high eigenvalues (Table 2). Of the 35 compounds included in the model, 26 were significantly correlated with PC1, and 2 with PC2, which had the highest contribution percentage in the ranking (Table 2; Figure 1).

The confidence ellipses indicate high heterogeneity in the analyzed samples, with the greatest variation in the 'Hass' variety samples. However, differences in volatile composition are evident between varieties, which are explained to a greater extent by PC1, which indicates a positive association with the 'Hass' variety and a negative one with the Antillean race. Similarly, a greater amount of compounds associated with the 'Hass' variety was observed (Figure 1).

The results of this work allow identifying the compounds that were more abundant in 'Hass' and Antillean avocado, or that are only found in one of them. In this sense, the volatiles α -pinene, sabinene, β -pinene, (E)-linalool oxide, benzyl nitrile, lavandulol, methyl salicylate, α -copaene, β -gurjunene and γ -muurolene were only found in the 'Hass' avocado flowers. These differences in floral volatiles can help to taxonomically classify the avocado races analyzed, as in the study by Kim et al. (2014), where they classified different species of chrysanthemums (*Chrysanthemum*) in Korea according to the composition of floral volatiles.

Resultados y discusión

Se identificaron 35 volátiles en las flores de aguacate 'Hass' y Antillana, los cuales en su mayoría son monoterpenos y sesquiterpenos. Los valores promedio de las composiciones porcentuales se muestran en el Cuadro 1, en donde el linalool fue el compuesto más abundante (30 %) en la raza Antillana, mientras que en 'Hass' el más abundante fue el (E)- β -ocimeno (20 %).

El ACP entre los compuestos de ambas variedades explica el 66.1 % de la variabilidad total de los datos, lo que denota valores propios (i.e. eigenvalues) elevados (Cuadro 2). De los 35 compuestos incluidos en el modelo, 26 fueron significativamente correlacionados con el CP1, y 2 con el CP2, mismos que presentaron el mayor porcentaje de contribución en la ordenación (Cuadro 2; Figura 1).

Las elipses de confianza indican una alta heterogeneidad en las muestras analizadas, con la mayor variación en las muestras de la variedad 'Hass'. No obstante, las diferencias en la composición de volátiles son evidentes entre variedades, mismas que se explican en mayor medida por el CP1, lo que señala una asociación positiva con la variedad 'Hass' y negativa con la raza Antillana. Del mismo modo, se observó una mayor cantidad de compuestos asociados con la variedad 'Hass' (Figura 1).

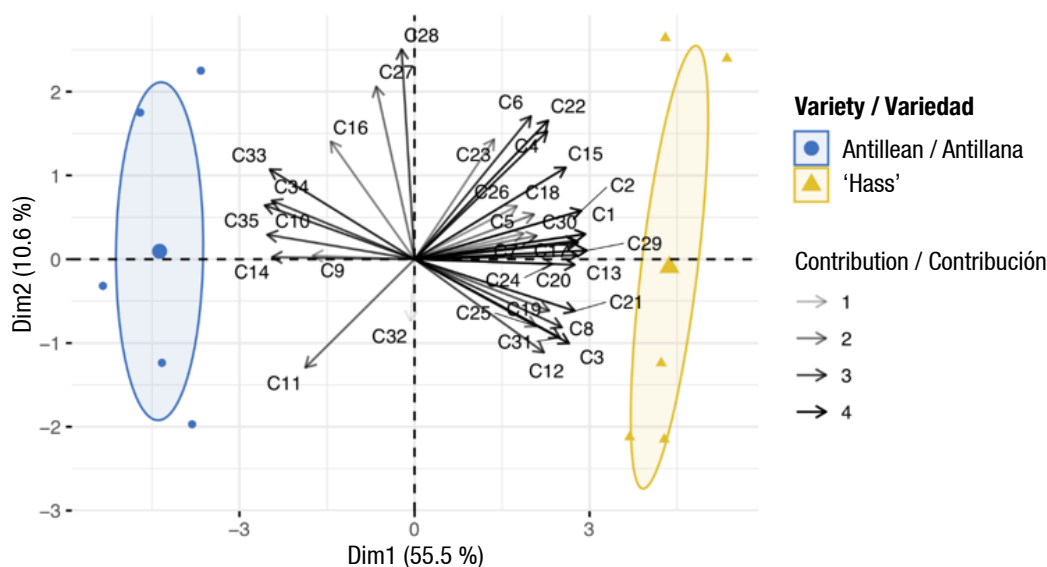


Figure 1. Principal component analysis of the areas of the floral compounds found in 'Hass' and Antillean avocado. The intensity of the arrows in the biplot indicates the contribution percentage of each compound in the construction of the first two dimensions of the ranking chart. From 1 to 35 correspond to the compound number in Table 1. Confidence ellipses ($\alpha = 0.05$).

Figura 1. Análisis de componentes principales de las áreas de los compuestos florales encontrados en aguacate 'Hass' y Antillana. La intensidad de las flechas en el biplot indica el porcentaje de contribución de cada compuesto en la construcción de las primeras dos dimensiones del gráfico de ordenación. Del 1 a 35 corresponden al número de compuesto en el Cuadro 1. Elipses de confianza ($\alpha = 0.05$).

Table 2. Eigenvalues and correlation coefficients of the first two components (PC1 and PC2) in 'Hass' and Antillean avocado floral volatiles.

Cuadro 2. Eigenvalores y coeficientes de correlación de los dos primeros componentes (CP1 y CP2) en los volátiles de flores de aguacate 'Hass' y Antillana.

Compound/Compuesto	Correlation/Correlación	
	PC1/CP1	PC2/CP1
C1	0.9566*	0.0982
C2	0.9343*	0.1891
C3	0.8648*	-0.3282
C4	0.7430*	0.4990
C5	0.6105	0.1005
C6	0.6517*	0.5577
C7	0.6840*	0.0915
C8	0.8248*	-0.2656
C9	-0.5702	0.0141
C10	-0.8251*	0.0958
C11	-0.6115	-0.4225
C12	0.7247*	-0.3634
C13	0.9117*	0.0157
C14	-0.7980*	0.0080
C15	0.8466*	0.3575
C16	-0.4690	0.4592
C17	0.9152*	0.0653
C18	0.6688*	0.1751
C19	0.7548*	-0.2011
C20	0.8965*	-0.0214
C21	0.8975*	-0.2019
C22	0.7481*	0.5412
C23	0.4453	0.4676
C24	0.7716*	-0.0187
C25	0.6807*	-0.2620
C26	0.5736	0.2075
C27	-0.2147	0.6735*
C28	-0.0725	0.8191*
C29	0.9646*	0.0341
C30	0.9076*	0.0718
C31	0.8142*	-0.3060
C32	-0.0228	-0.2417
C33	-0.8107*	0.3504
C34	-0.7999*	0.2285
C35	-0.8391*	0.2105
Eigenvalues/Eigenvalores	19.42	3.7

*Significant correlation ($\alpha = 0.05$).

*Correlación significativa ($\alpha = 0.05$).

Differences in the volatile compounds of the two types of avocados may also help explain the preference of some herbivorous species for these crops. Such is the case of the avocado seed weevil *Conotrachelus perseae*, which has only been reported in the 'Hass' avocado crop in the Comitán region, Chiapas (Vázquez, Cruz-López, & Chamé-Vázquez, 2015), while the seed borer moth *Stenoma catenifer* has been reported in Antillean race crops (Vázquez, Cruz-López, Gómez, & Castillo, 2017) in the Soconusco region, Chiapas. The same may occur with the attraction of several species of pollinators that have been reported for avocado (Castañeda-Vildózola et al., 1999), as happens with the floral volatiles of several species of pumpkin (*Curcubita*) and *Cirsium arvense* flowers that attract herbivores and pollinators (Andrews, Theis, & Adler, 2017; Theis, 2006).

Conclusions

Thirty-five compounds were identified in 'Hass' and Antillean avocado flowers. The floral volatiles α -pinene, sabinene, β -pinene, (E)-linalool oxide, benzyl nitrile, lavandulol, methyl salicylate, α -copaene, β -gurjunene and γ -muurolene were only found in 'Hass' avocado. In addition, differences were observed between the two types of avocados in terms of the proportions of the compounds.

End of English version

References / Referencias

- Andrews, E. S., Theis, N., & Adler, L. S. (2007). Pollinator and herbivore attraction to *Cucurbita* floral volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 33, 1682-1691. doi: 10.1007/s10886-007-9337-7
- Bruce, T., Wadhams, L., & Woodcock, C. (2005). Insect host location: a volatile situation. *Trends in Plant Science*, 10(6), 269-274. doi: 10.1016/j.tplants.2005.04.003
- Can-Alonzo, C., Quezada-Euán, J. J., Xiu-Ancona, P., Moo-Valle, H., Valdovinos-Núñez, G. R., & Medina-Peralta, S. (2005). Pollination of 'criollo' avocados (*Persea americana*) and the behavior of associated bees in subtropical Mexico. *Journal of Apicultural Research*, 44(1), 3-8. doi: 10.1080/00218839.2005.11101138
- Castañeda-Vildózola, A., Equihua-Martínez, A., Valdés-Carrasco, J., Barrientos-Priego, A. F., Ish-Am, G., & Gazit, S. (1999). Insectos polinizadores del aguacatero en los estados de México y Michoacán. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 129-136. Retrieved from http://www.avocadosource.com/WAC4/WAC4_p129.pdf
- 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. doi: 10.1007/s13765-014-4162-5

Los resultados de este trabajo permiten identificar a los compuestos que fueron más abundantes en aguacate 'Hass' y Antillana, o que se encuentran únicamente en alguno de ellos. En este sentido, los volátiles α -pineno, sabineno, β -pineno, (E)-óxido de linalool, nitrilo de bencilo, lavandulol, salicilato de metilo, α -copaeno, β -gurjuneno y γ -muuroleno se encontraron únicamente en las flores de aguacate 'Hass'. Estas diferencias en los volátiles florales pueden ayudar a clasificar de manera taxonómica las razas de aguacate analizadas, como en el estudio realizado por Kim et al. (2014), en donde clasificaron diferentes especies de crisantemos (*Chrysanthemum*) en Corea de acuerdo con la composición de los volátiles florales.

Las diferencias en los compuestos volátiles de los dos tipos de aguacates podrían también ayudar a explicar la preferencia de algunas especies de herbívoros hacia estos cultivos. Como es el caso del barrenador del hueso *Conotrachelus perseae*, el cual ha sido reportado únicamente en el cultivo de aguacate 'Hass' en la región de Comitán, Chiapas (Vázquez, Cruz-López, & Chamé-Vázquez, 2015), mientras que el barrenador del hueso *Stenoma catenifer* se ha reportado en cultivos de la raza Antillana (Vázquez, Cruz-López, Gómez, & Castillo, 2017) en la región del Soconusco, Chiapas. Lo mismo puede ocurrir con la atracción de varias especies de polinizadores que han sido reportados para el aguacate (Castañeda-Vildózola et al., 1999), como sucede con los volátiles florales de varias especies de calabaza (*Curcubita*) y flores de *Cirsium arvense* que atraen a herbívoros y a polinizadores (Andrews, Theis, & Adler, 2017; Theis, 2006).

Conclusiones

Se identificaron 35 compuestos en las flores de aguacate 'Hass' y Antillana. Los volátiles florales α -pineno, sabineno, β -pineno, (E)-óxido de linalool, nitrilo de bencilo, lavandulol, salicilato de metilo, α -copaeno, β -gurjuneno y γ -muuroleno sólo se encuentran en 'Hass'. Además, se observaron diferencias en las proporciones de los compuestos entre los dos tipos de aguacates.

Fin de la versión en español

- 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. doi: 10.1104/pp.126.3.956
- McCune, B., & Grace, J. (2002). *Analysis of ecological communities*. Oregon, USA: MjM Software Design.
- Niinemets, U., Loreto, F., & Reichstein, M. (2004). Physiological and physicochemical controls on foliar volatile organic

- compound emissions. *Trends in Plant Science*, 9(4), 180-186. doi: 10.1016/j.tplants.2004.02.006
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org/>
- Sanders, M., & van Doorn, W. (2004). Book review. The avocado: botany, production and uses. *Postharvest Biology and Technology*, 31(2), 213-214. doi: 10.1016/j.postharvbio.2003.11.010
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). Nuestro "Oro Verde": El Aguacate. Retrieved September 18, 2019 from <https://www.gob.mx/siap/articulos/nuestro-oro-verde-el-aguacate?idiom=es>
- Theis, N. (2006). Fragrance of Canada thistle (*Cirsium arvense*) attracts both floral herbivores and pollinators. *Journal of Chemical Ecology*, 32, 917-927. doi: 10.1007/s10886-006-9051-x
- Vázquez, M., Cruz-López, L., & Chamé-Vázquez, E. (2015). First record of *Conotrachelus perseae* (Coleoptera: Curculionidae) in Comitán, Chiapas, Mexico. *Florida Entomologist*, 98(4), 1252-1253. doi: 10.1653/024.098.0439
- Vázquez, M., Cruz-López, L., Gómez, J., & Castillo, A. (2017). Annual capture of two elachistidae moth species using *Stenomoma catenifer* sex pheromone in criollo avocado (*Persea americana*) at Chiapas, Mexico. *Southwestern Entomologist*, 42(1), 91-101. doi: 10.3958/059.042.0106