



Revista Colombiana de Química
ISSN: 0120-2804
ISSN: 2357-3791
rcolquim_fcbog@unal.edu.co
Universidad Nacional de Colombia
Colombia

Caracterización de los compuestos de aroma del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) por HS-SPME-GC-MS-O

Monroy Soto, Lina Teresa; López Cordoba, Carlos Alberto; Araque Marín, Pedronel; Torijano Gutierrez, Sandra Adela; Zapata Ochoa, Julián Andrés

Caracterización de los compuestos de aroma del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) por HS-SPME-GC-MS-O

Revista Colombiana de Química, vol. 48, núm. 3, 2019

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309061220003>

Caracterización de los compuestos de aroma del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) por HS-SPME-GC-MS-O

Characterization of aroma compounds in sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) by HS-SPME-GC-MS-O

Caracterização de compostos de aroma em sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) por HS-SPME-GC-MS-O

Lina Teresa Monroy Soto

Universidad de Antioquia, Colombia

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>

id=309061220003

Carlos Alberto López Cordoba

Universidad de Antioquia, Colombia

Pedronel Araque Marín

Universidad EIA, Colombia

Sandra Adela Torijano Gutierrez

Universidad EIA, Colombia

Julián Andrés Zapata Ochoa

Universidad de Antioquia, Colombia

julian.zapatao@udea.edu.co

Recepción: 08 Abril 2019

Aprobación: 17 Julio 2019

RESUMEN:

Se identificaron los componentes aromáticos activos provenientes de muestras comerciales del aceite de sacha inchi, obtenidos de cultivos de Santa Rosa de Osos (Antioquia, Colombia), mediante la técnica de microextracción en fase sólida acoplada a cromatografía de gases, espectrometría de masas y olfatometría (HS-SPME-GC-MS-O). En la optimización de la técnica de extracción se definieron las siguientes condiciones: fibra de SPME de divinilbenceno / carboxen / polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS), temperatura de extracción de 50 °C y tiempo de exposición de 40 min. Bajo estas condiciones, se encontraron un total de 20 compuestos aromáticos activos, donde se destacan el *E*-2-octenal, *E*-heptanal, (*E,E*)-3,5-octadien-2-ona, ácido hexanoico y (*E,E*)-2,4-heptadienal como los componentes con mayor aporte a la formación del aroma del aceite de sacha inchi.

PALABRAS CLAVE: compuestos volátiles, aceite comestible vegetal, características sensoriales.

ABSTRACT:

The active aromatic components from commercial samples of sacha inchi oil obtained from Santa Rosa de Osos (Antioquia, Colombia) crops were identified by solid phase microextraction technique coupled to gas chromatography, mass spectrometry, and olfactometry (HS-SPME-GC-MS-O). In the optimization of the extraction technique, the following conditions were defined: SPME fiber of divinylbenzene / carboxen / polydimethylsiloxane (DVB/CAR/PDMS), extraction temperature 50 °C, and exposure time 40 min. Under these conditions, a total of 20 active aromatic compounds were found, which include *E*-2-octenal, *E*-heptanal, (*E,E*)-3,5-octadien-2-one, hexanoic acid and (*E,E*)-2,4-heptadienal as the components with the greatest contribution to the aroma formation of sacha inchi oil.

KEYWORDS: volatile compounds, oil edible vegetable, sensory characteristics.

RESUMO:

NOTAS DE AUTOR

julian.zapatao@udea.edu.co

Os componentes de aroma ativos de amostras comerciais de óleo de sacha inchi obtidos de Santa Rosa de Osos (Antioquia, Colômbia) foram separados pela técnica de microextração em fase sólida acoplada a cromatografia gasosa, espectrometria de massas e olfatometria para a identificação (HS-SPME-GC-MS-O). Na otimização da técnica de extração, foram definidas as seguintes condições: fibra de SPME de divinilbenzeno / carboxeno / polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS), temperatura de extração 50 °C e tempo de exposição de 40 min. Nestas condições, foi encontrado um total de 20 compostos de aroma ativos no óleo, que incluem *E*-2-octenal, *E*-heptanal, (*E,E*)-3,5-octadien-2-ona, ácido hexanoico e (*E,E*)-2,4 heptadienal como os componentes com maior contribuição para a formação do aroma.

PALAVRAS-CHAVE: compostos voláteis, óleo vegetal comestível, características sensoriais.

INTRODUCCIÓN

El sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) es una planta amazónica que presenta floración y fructificación continua [1, 2]. El aceite extraído de las semillas de sacha inchi es una fuente importante de ácido α -linolénico (omega-3). Debido a sus propiedades nutricionales y fisicoquímicas, la industria alimentaria y las industrias farmacéutica y de biodiesel presentan, respectivamente, gran interés en este [3-5]. Adicionalmente, el aceite de sacha inchi, el cual ha incursionado en el mercado mundial como aceite virgen, se usa tradicionalmente en la dieta peruana y se utiliza, como ingrediente, para funcionalizar alimentos en humanos (por ejemplo, hamburguesas, snacks y yogures) y para alimentos en animales [5].

Por otra parte, los alimentos son evaluados de acuerdo con dos funciones: su valor de proveer componentes nutritivos estándar y sus propiedades sensoriales. La primera está relacionada con los compuestos químicos presentes en componentes nutritivos y la segunda está asociada a propiedades organolépticas. Estas describen las características físicas de un producto y son percibidas mediante los sentidos (gusto, tacto, olfato y vista) [6]. Como consecuencia de esta situación surgen los alimentos funcionales, los cuales tienen efectos beneficiosos y nutricionales básicos en las funciones del organismo, pues mejoran la salud humana o disminuyen el riesgo de contraer enfermedades. Entre este tipo de alimentos se encuentran los aceites vegetales, como el aceite de sacha inchi[7]. Adicionalmente, si estos alimentos presentan ciertas características sensoriales atractivas para el consumidor, se facilita su incorporación en la dieta.

Una de las propiedades más importantes para definir la calidad de un aceite es su aroma, el cual resulta de su composición volátil. Debido a esto, en el área de la tecnología de alimentos, el estudio y análisis de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) han tomado gran relevancia, ya que estos generan la percepción sensorial del consumidor, en la medida en que dan a conocer la composición aromática y determinan la calidad del contenido de odorantes para así producir un aceite más apetecible al consumidor [8].

Ahora bien, a la fecha, solo se ha reportado un estudio sobre el contenido de compuestos volátiles del aceite de sacha inchi [9]. En este único estudio solo se reportan los compuestos volátiles identificados, más no se reporta su actividad sensorial. Por lo tanto, no se tiene información sobre la composición volátil que caracteriza y define las características sensoriales de aroma del aceite. Por lo anterior, el objetivo de este estudio es la optimización de un método de SPME en espacio de cabeza (HS-SPME), seguido del análisis por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas y detector olfatométrico, el cual permita establecer, por primera vez, el contenido de odorantes activos presentes en el aceite de sacha inchi.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se trabajó con un aceite comercial de sacha inchi, suministrado por un establecimiento comercial, obtenido por prensado en frío de semillas de sacha inchi provenientes del corregimiento de San Pablo, Santa Rosa de Osos, Antioquia, Colombia.

Reactivos e insumos

La mezcla de alkanos (desde C₆ hasta C₂₅) fue suministrada por Supelco (Bellefonte, PA, USA). El agua de calidad analítica se obtuvo de un sistema de purificación Milli-Q de Millipore (Bedford, USA). Las fibras de SPME empleadas fueron proporcionadas por Supelco (Bellefonte, PA, USA): polidimetilxiloxano PDMS (100 µm), polidimetilsiloxano / divinilbenceno PDMS / DVB (65 µm) y polidimetilsiloxano / carboxen / divinilbencenoDVB / CAR / PDMS (50/30 µm). Se utilizaron columnas DB-WAX de 30 m, 0,25 mm de diámetro interno y 0,25 µm de espesor de película y DB5 de 30 m, 0,25 mm de diámetro interno y 0,25 µm de espesor de película Agilent J&W Scientific (Folsom, CA, USA).

Entrenamiento del panel sensorial

Para la evaluación sensorial del aroma, se entrenó un panel sensorial olfativo conformado por diez personas: cinco mujeres y cinco hombres entre los 18 - 35 años. El entrenamiento consistió en sesiones prácticas y teóricas, las cuales se llevaron a cabo una vez por semana, en sesiones de 2 h durante 5 meses.

Los jueces se entrenaron con muestras de productos de diferentes descriptores sensoriales olfativos: florales, frutales, verdes y grasos. Las muestras se ubicaron en recipientes oscuros marcados con un código de tres dígitos para evitar el sesgo. La metodología utilizada fue la propuesta por Steinhaus y Schieberle [10]. Se introdujo una escala de intensidades de 0 a 3, en la cual, 0 indica que no se detecta olor, 1 que se detecta una nota débil (apenas reconocible), 2 que se detecta una nota claramente identificable y 3 que se detecta una nota intensa. Se realizaron olfatometrías de entrenamiento en la descripción y asignación de la intensidad de cada odorante, previo a analizar la muestra problema [11].

Optimización de la técnica de extracción HS-SPME

Se optimizaron los principales parámetros que afectan el proceso de extracción, estos son: la fase extractora (naturaleza química del recubrimiento de la fibra), la temperatura de extracción y el tiempo de extracción.

Inicialmente, se evaluaron tres fibras con diferentes polaridades: PDMS, PDMS / DVB y DVB / CAR / PDMS. La inyección se realizó en modo manual, empleando un holder de SPME; Supelco (Bellefonte, PA, USA). Todas las fibras se acondicionaron térmicamente según la recomendación del fabricante. Se eligieron las siguientes condiciones de partida: 2,0 g de aceite de sacha inchi, tiempo de extracción de 30 min, temperatura de extracción de 40 °C y tiempo de equilibrio de 5 min. Estas condiciones iniciales se tomaron del trabajo reportado por F. Ramos-Escudero [9], donde se analizó la fracción volátil del aceite de sacha inchi. La eficiencia de la extracción se evaluó en función de la cantidad e intensidad de la señal de los analitos volátiles extraídos y se verificó por análisis olfactométrico GC-O.

Posteriormente, se evaluó la temperatura de extracción. Para ello, se emplearon cuatro temperaturas diferentes: 30, 40, 50 y 60 °C. Finalmente, se estudiaron cuatro tiempos de extracción: 20, 40, 60 y 80 min. En todos los casos, solo se modificó el parámetro en estudio, manteniendo las otras condiciones constantes.

Se utilizó un cromatógrafo de gases VARIAN 3800 acoplado a un sistema de detección de espectrometría de masas Saturn 2000 con analizador de trampa de iones y un inyector split/splittless estándar con un liner para SPME de 0,75 mm de diámetro interno. Se usó el modo de inyección splitless a una temperatura de 250 °C durante 3 min. Se empleó helio como gas portador a una velocidad lineal constante de 1 mL / min y una columna cromatográfica DB-WAX de 30 m de largo, 0,25 mm de diámetro interno y 0,25 µm de espesor de película. La temperatura inicial del horno cromatográfico fue de 40 °C durante 4 min, luego se incrementó a una velocidad de 5 °C/min hasta 220 °C, dando un tiempo de análisis de 45 min. La temperatura de la

trampa de iones se mantuvo en 150 °C y la línea de transferencia a 240 °C. El rango de masas seleccionado fue de 40 a 350 Dalton.

Identificación de los odorantes por GC-O

El análisis se realizó en un cromatógrafo de gases HP HEWLETT PACKARD 5890 series II plus con detector de ionización de llama (FID) y con un puerto de olfacción adaptado al cromatógrafo de gases. Se utilizó el modo de inyección splitless a una temperatura de 250 °C durante 3 min. Se empleó el gas portador hidrógeno a una velocidad lineal constante de 1 mL/min.

La identificación de los compuestos odorantes se realizó en dos fases cromatográficas: la primera, DB-WAX, de 30 m de largo, 0,25 mm de diámetro interno y 0,25 µm de espesor de película. La temperatura inicial fue de 40 °C durante 4 min, luego, se incrementó a una velocidad de 5 °C/min hasta 220 °C. El tiempo total de análisis fue de 45 min. La segunda columna, DB-5, con las mismas dimensiones que la anterior, se mantuvo a una temperatura inicial de 40 °C durante 4 min, luego, se incrementó a una velocidad de 5 °C/min hasta 270 °C. El tiempo de análisis fue de 50 min. En ambos casos la temperatura del detector se mantuvo a 280 °C.

Las muestras de sacha inchi fueron evaluadas por seis jueces entrenados. Cada análisis independiente por GC-O del aceite de sacha inchi fue realizado por tres jueces. Cada juez hizo el análisis en períodos de 15 min y el análisis completo de las muestras en tres sesiones diferentes.

Con los datos proporcionados se calculó la frecuencia modificada (MF), Ec. (1); donde F(%) es la frecuencia de detección de un atributo aromático expresado como un porcentaje e I (%) es la intensidad promedio expresada como un porcentaje de la intensidad máxima, el cual permitió estimar los compuestos odorantes más importantes y con mayor impacto en el aroma presentes en el aceite de sacha inchi.

$$MF(\%) = \sqrt{F(\%) \times I(\%)} \quad (1)$$

Identificación de los compuestos

La identificación de los compuestos sensorialmente activos se realizó bajo los siguientes criterios: comparación con un espectro de masas de referencia de la base de datos NIST Mass Spectral Library 2017, comparación con los índices de retención lineales (LRI) reportados en la literatura en fase polar y no polar, comparación de los descriptores de aroma reportados por los jueces en las olfactometrías con los olores de referencia de los compuestos reportados en la literatura y comparación con estándares de los compuestos disponibles. El criterio para aceptar la identificación de un compuesto fue la correcta correspondencia del espectro de masas, los LRI y la descripción olfativa con los datos de referencia reportados para cada compuesto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Optimización de la técnica HS-SPME

Uno de los parámetros más relevantes a optimizar en la técnica de SPME es el tipo de fase extractora (fibra), debido a que el recubrimiento participa en uno de los equilibrios fundamentales que rigen el proceso de extracción. Se eligió la fase extractora DVB/PDMS/CAR, la cual presentó mayor número de señales y más

intensidad de señal respecto a las otras dos fases evaluadas. Los cromatogramas se muestran en la figura 1. Adicionalmente, se verificó por GC-O la cantidad de odorantes identificados, siendo la fase DVB/PDMS/CAR la cual presentó mayor número de odorantes con mayor intensidad sensorial, confirmando así que esta fase extractora es la adecuada para continuar el estudio.

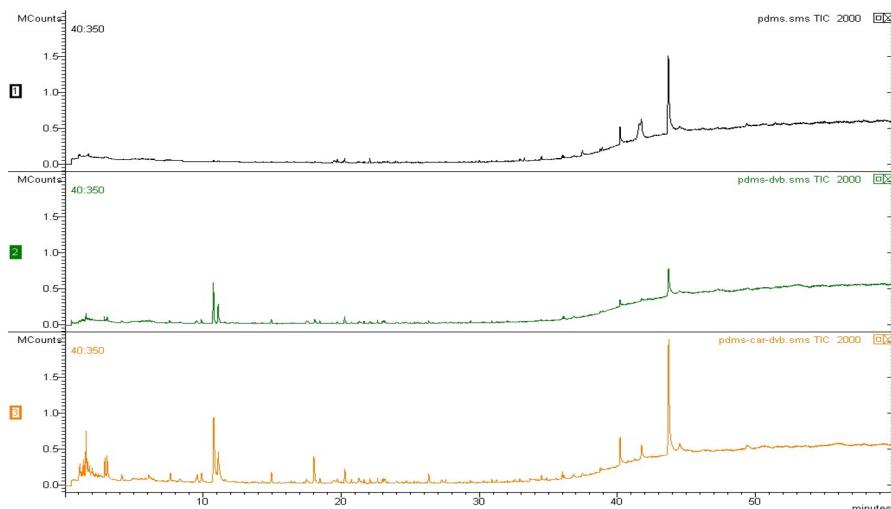


Figura 1.

Cromatogramas del análisis de compuestos volátiles presentes en aceite de sacha inchi con diferentes fibras de SPME. 1: PDMS, 2: PDMS/CAR y 3: PDMS/CAR/DVB

Una vez definida la fase extractora, se estudió el efecto de la temperatura de extracción (30, 40, 50 y 60 °C), observándose que, a mayor temperatura, aumenta la cantidad de compuestos volátiles extraídos (representados por la suma total de las áreas de todos los picos en el cromatograma), notándose que el proceso alcanza el equilibrio de fases a 50 °C. Por ello, se eligió la temperatura de 50 °C como la más adecuada para el método de extracción de compuestos volátiles activos, los resultados se muestran en la figura 2.

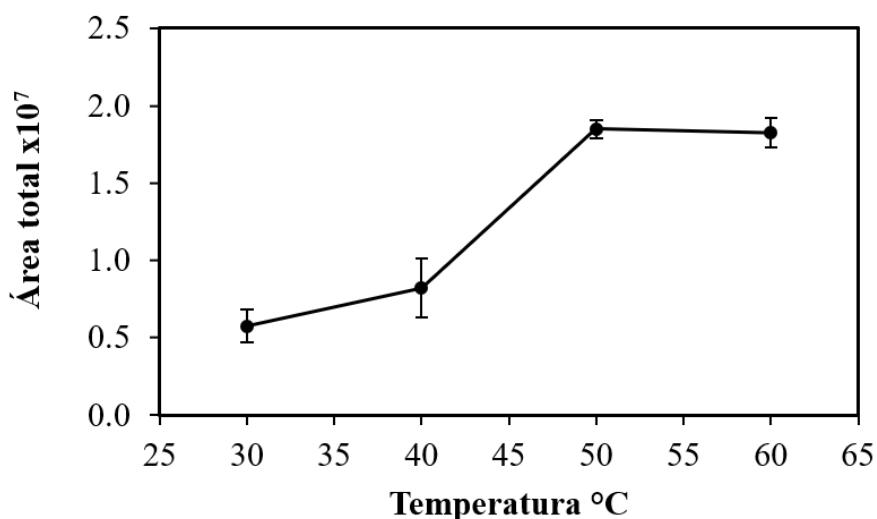


Figura 2.

Efecto de la temperatura en el proceso de extracción de los compuestos volátiles presentes en el aceite de sacha inchi.

Luego, se optimizó el tiempo de extracción (20, 40, 60 y 80 min). Para esto, se tomaron las áreas de tres compuestos que eluyen al inicio, a la mitad y al final del análisis cromatográfico, hexanal, 1-hexenol y 3,5-octadien-2-ona, respectivamente. Los resultados se muestran en la figura 3, allí se observa que el equilibrio

se alcanza a partir del minuto 40 en todos los casos. Al evaluar las áreas totales de todos los compuestos volátiles extraídos se encontraron resultados similares, los cuales permitieron definir este tiempo como el más apropiado para realizar la extracción de los compuestos volátiles.

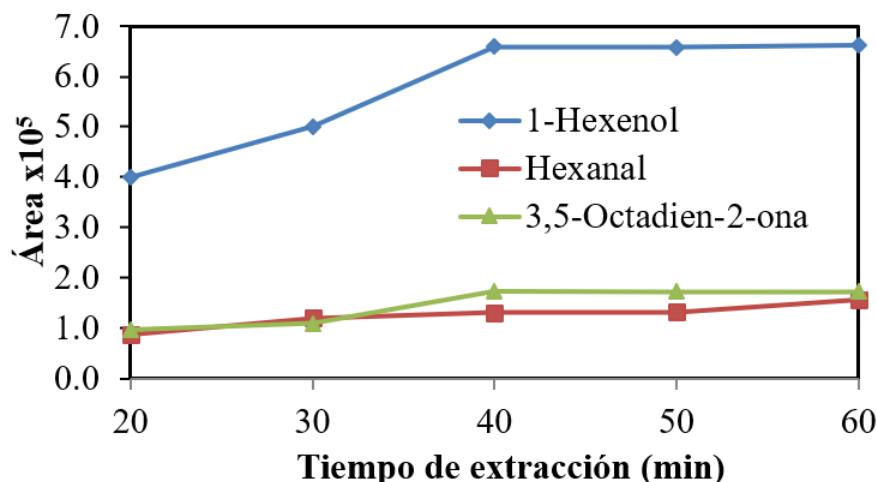


Figura 3.

Efecto del tiempo de extracción sobre el proceso de extracción de los compuestos volátiles presentes en el aceite de sacha inchi.

Finalmente, se comparó el olor del aceite de sacha inchi con el olor del extracto retenido en la fibra de SPME, encontrándose que el extracto obtenido presenta el mismo olor que la muestra problema de aceite de sacha inchi estudiada.

Identificación por cromatografía gaseosa-espectrometría de masas-olfatometría (GC-MS-O)

En la tabla 1 se presentan los compuestos volátiles sensorialmente activos presentes en el aceite vegetal de sacha inchi con sus correspondientes porcentajes de MF. Se encontraron compuestos agrupados en aldehídos, hidrocarburos, alcoholes, cetonas, terpenos, furanos y ácidos carboxílicos. En algunos casos, se logró la identificación positiva de los componentes por comparación con estándares auténticos, en otros se reportó la identificación tentativa de los compuestos volátiles. Según la frecuencia modificada, los compuestos volátiles con mayor impacto sensorial son: E-2-octenal, E-2-heptanal, 3,5-octadien-2-onal y el ácido hexanoico. El descriptor de olor “notas verdes” presentó mayor frecuencia de detección aromática.

Tabla 1.

Nombre del compuesto	Descriptor del olor	LRI DB-WAX	LRI DB-5	MF (%)
E-2-octenal*	Verde, graso	1450	1061	100
E-2-heptanal*	Verde	1329	937	88
3,5-octadien-2-ona	Verde, seta	1562	1067	83
Ácido hexanoico*	Verde, graso	1837	978	82
(E,E)-2,4-heptadienal*	Graso, verde	1478	1006	75
Estireno*	Balsámico, solvente	1270	889	47
Aristoleno	Flores, dulce	1566	1383	37
Hexanal*	Verde, graso	1091	803	35
2-pentilfurano	Frijol, verde	1223	986	35
2-butoxietanol	Seta, graso	1406	900	29
Nonanal*	Verde, cítrico	1380	-	26
1-penten-3-ol*	Pungente, aceite	1166	<800	24
Etilbenceno*	Fruta, floral	1139	858	23
Limoneno*	Cítrico, menta	1202	1027	20
Benzaldehído*	Almendra	1510	968	19
1-Hexanol*	Verde	-	793	18
p-xileno*	Dulce	1139	859	10

Compuestos odorantes identificados en el aceite vegetal de sacha inchi mediante HS-SPME.

*Compuestos volátiles identificados positivamente por comparación con estándares reales. En los demás casos se tiene la identificación tentativa de los compuestos. MF = Frecuencia modificada.

Dentro de los compuestos identificados se destaca la familia de los aldehídos (6 compuestos identificados). Generalmente, los aldehídos se caracterizan por sus notas tanto agradables como a rancio en los alimentos, con descriptores como verde, césped recién cortado, cítrico o dulce [12]. Los aldehídos encontrados pertenecen al grupo de los alquenales, alcadienales, aldehídos saturados y aldehídos aromáticos, siendo los más importantes a la contribución sensorial los alquenales y los alcadienales. Estos compuestos han sido encontrados en otros aceites vegetales de oliva, lino y comino [6, 12, 13], y su presencia en el aceite se da vía reacciones de lipoxigenación, donde los principales precursores son el ácido linoleico y el ácido α -linoleico [14]. Una situación similar se presenta con los alcoholes en la fracción volátil, su presencia se debe a la actividad de óxido-reducción de los lípidos y la presencia de ácido linoleico y ácido α -linoleico, contribuyendo a la formación de notas verdes y rancias en el aceite [15, 16].

La presencia de hidrocarburos volátiles aromáticos (VAH, por sus siglas en inglés) en la fracción volátil de los aceites vegetales comestibles ha causado cierto nivel de preocupación, debido a la presencia detolueno, estireno y derivados del benceno en bajas concentraciones [17, 18]. El origen de estos VAH es en gran parte desconocido. Bierdermann et al. realizaron experimentos para evaluar si los VAH surgen de contaminación del aire o de rutas biosintéticas que tienen lugar durante la maduración de los frutos, llegando a la conclusión de que la concentración de VAH encontrada era mayor que la esperada a través del equilibrio con el aire. Esto indica que el origen de los VAH podría surgir de vías tanto endógenas como exógenas [19].

Otros compuestos encontrados como el aristoleno y el limoneno se han reportado previamente en aceites vegetales, presentando notas florales y cítricas [20, 21]. Para el ácido hexanoico, se ha reportado que puede ser el resultado de una descomposición secundaria del hexanal, lo cual está correlacionado con un porcentaje

relativamente alto de este aldehído en el aceite [22]. En el caso del 2-pentilfurano, este furano se forma en el aceite a partir del ácido linoleico y se ha reportado su presencia en aceites de soya [23].

CONCLUSIONES

Se establecieron las condiciones óptimas (fase extractora, la temperatura de extracción, el tiempo de extracción) para la extracción por HS-SPME, las cuales permitieron la identificación de los compuestos volátiles sensorialmente activos presentes en el aceite vegetal de sacha inchi de origen colombiano. Seguidamente, se identificaron, por primera vez, un total de 20 compuestos activos de aroma en la muestra de aceite de sacha inchi, los cuales se agrupan en 6 aldehídos, 6 hidrocarburos, 3 alcoholes, 2 terpenos, 1 cetona, 1 furano y 1 ácido carboxílico. Los odorantes con mayor potencia aromática son el E-2-octenal, E-heptanal, (E,E)-3,5-octadien-2-ona, ácido hexanoico y el (E,E)-2,4-heptadienal con MF superiores al 75%. Dichos compuestos tienen descriptores sensoriales a verde, graso y seta que caracterizan el aroma global del aceite de sacha inchi.

REFERENCIAS

- [1] R. Chirinos, G. Zuloeta, R. Pedreschi, E. Mignolet, Y. Larondelle, and D. Campos, "sacha inchi (*Plukenetia volubilis*): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity," *Food Chemistry*, vol. 141, pp. 1732-1739, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.078>
- [2] D. M. Triana-Maldonado, S. A. Torijano-Gutiérrez, and C. Giraldo-Estrada, "Supercritical CO₂ extraction of oil and omega-3 concentrate from sacha inchi (*Plukenetia volubilis L.*) from Antioquia, Colombia," 2017, vol. 68, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3989/gya.0786161>
- [3] M. Venegas-Calerón, O. Sayanova, and J. A. Napier, "An alternative to fish oils: Metabolic engineering of oil-seed crops to produce omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids," *Progress in Lipid Research*, vol. 49, pp. 108-119, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2009.10.001>
- [4] N. E. Maurer, B. Hatta-Sakoda, G. Pascual-Chagman, and L. E. Rodriguez-Saona, "Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acids, sacha inchi (*Plukenetia volubilis L.*) oil," *Food Chemistry*, vol. 134, pp. 1173-1180, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.143>
- [5] S. Wang, F. Zhu, and Y. Kakuda, "Sacha inchi (*Plukenetia volubilis L.*): Nutritional composition, biological activity, and uses," *Food Chemistry*, vol. 265, pp. 316-328, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.055>
- [6] W. Zhang, X. Cao, and S. Q. Liu, "Aroma modulation of vegetable oils—A review," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, pp. 1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1579703>
- [7] I. Siró, E. Kápolna, B. Kápolna, and A. Lugasi, "Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review," *Appetite*, vol. 51, pp. 456-467, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.05.060>
- [8] D. B. Min, "Analyses of flavor qualities of vegetable oils by gas chromatography," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 60, pp. 544-545, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf02679783>
- [9] D. F. R. Escudero, "Caracterización y trazabilidad del aceite de sacha Inchi (*Plukenetia volubilis Linneo*)," Tesis de Doctorado, Universidad de Sevilla, España, 2014.
- [10] P. Steinhaus and P. Schieberle, "Characterization of the Key Aroma Compounds in Soy Sauce Using Approaches of Molecular Sensory Science," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 55, pp. 6262-6269, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0709092>

- [11] J. Osorio Monsalve, C. A. López Córdoba, and J. A. Zapata Ochoa, "Caracterización de los compuestos del aroma en rones colombianos por HS-SPME-GC-MS-O," 2016, vol. 45, p. 7, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v45n2.60406>
- [12] S. Kesen, H. Kelebek, K. Sen, M. Ulas, and S. Sell, "GC-MS-olfactometric characterization of the key aroma compounds in Turkish olive oils by application of the aroma extract dilution analysis," Food Research International, vol. 54, pp. 1987-1994, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.09.005>
- [13] A. Genovese, N. Yang, R. Linforth, R. Sacchi, and I. Fisk, "The role of phenolic compounds on olive oil aroma release," Food Research International, vol. 112, pp. 319-327, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.054>
- [14] I. Feussner and C. Wasternack, "THE LIPOXYGENASE PATHWAY," Annual Review of Plant Biology, vol. 53, pp. 275-297, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.100301.135248>
- [15] M. S. Nogueira, B. Scolaro, G. L. Milne, and I. A. Castro, "Oxidation products from omega-3 and omega-6 fatty acids during a simulated shelf life of edible oils," LWT, vol. 101, pp. 113-122, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.044>
- [16] J. M. Olias, A. G. Perez, J. J. Rios, and L. C. Sanz, "Aroma of virgin olive oil: Biogenesis of the "green" odor notes," Journal of Agricultural and Food Chemistry, vol. 41, pp. 2368-2373, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf00036a029>
- [17] W. Moreda, M. C. Pérez-Camino, and A. Cert, "Gas and liquid chromatography of hydrocarbons in edible vegetable oils," Journal of Chromatography A, vol. 936, pp. 159-171, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)01222-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)01222-5)
- [18] M. D. Guillén, E. Goicoechea, G. Palencia, and N. Cosmes, "Evidence of the Formation of Light Polycyclic Aromatic Hydrocarbons during the Oxidation of Edible Oils in Closed Containers at Room Temperature," Journal of Agricultural and Food Chemistry, vol. 56, pp. 2028-2033, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf072974h>
- [19] M. Biedermann, K. Grob, and G. Morchio, "On the origin of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene in extra virgin olive oil," Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, vol. 200, pp. 266-272, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf01187517>
- [20] T. Matsui, H. Guth, and W. Grosch, "A comparative study of potent odorants in peanut, hazelnut, and pumpkin seed oils on the basis of aroma extract dilution analysis (AEDA) and gas chromatography-olfactometry of headspace samples (GCOH)," Lipid / Fett, vol. 100, pp. 51-56, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1521-4133\(199802\)100:2<51::aid-lipi51>3.0.co;2-w](https://doi.org/10.1002/(sici)1521-4133(199802)100:2<51::aid-lipi51>3.0.co;2-w)
- [21] M. Shimoda, Y. Nakada, M. Nakashima, and Y. Osajima, "Quantitative Comparison of Volatile Flavor Compounds in Deep-Roasted and Light-Roasted Sesame Seed Oil," Journal of Agricultural and Food Chemistry, vol. 45, pp. 3193-3196, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf970172o>
- [22] I. ben Hammouda, F. Freitas, S. Ammar, M. D. R. G. Da Silva, and M. Bouaziz, "Comparison and characterization of volatile compounds as markers of oils stability during frying by HS-SPME-GC/MS and Chemometric analysis," Journal of Chromatography B, vol. 1068-1069, pp. 322-334, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2017.10.063>
- [23] D. B. Min, A. L. Callison, and H. O. Lee, "Singlet Oxygen Oxidation for 2-Pentylfuran and 2-Pentenylfuran Formation in Soybean Oil," Journal of Food Science, vol. 68, pp. 1175-1178, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb09620.x>