

Identifikasi Senyawa Kimia Dalam Ekstrak Kopi Arabika Sangrai Tiom Dengan Metode *Gas Chromatography - Mass Spectrometry* (GC-MS)

Septiani Mangiwa^{1*}, Diana M. Abulais²

^{1,2}Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Cenderawasih, Jayapura.

*Email: septhy.mangiwa@yahoo.com

ABSTRACT

Kopi Tiom is a type of Arabica coffee from Papua that has unique sensory characteristics. Sensory characteristics are related to the chemical compounds contained within it. Chemical compounds are influenced by various factors, including post-harvest processing and roasting. In this study, the Tiom coffee sample used was processed using the natural method, while the roasting was done at a medium level. Extraction was prepared using the soxhlet method, and the identification of chemical compounds was carried out using the GC-MS method. A total of 31 chemical compounds were successfully identified, including 11 aldehydes, 2 fatty acids, 5 esters, 2 furanones, 7 hydrocarbons, 2 ketones, 1 pyranone, and 1 sterol. Aldehydes are the most dominant group of compounds found in Tiom coffee samples. The three aldehyde compounds detected in the highest amounts in the samples are (E)-2-decenal (47,62%), (Z)-2-heptenal (13,43%), and (E)-2-nonenal (5,05%). The group of aldehyde compounds is crucial in generating a distinctive aroma characterized by a sharp quality and a consistent, unique flavor in Tiom coffee.

Keywords: Arabica coffee, Tiom coffee, chemical compounds, sensory characteristics, and GC-MS.

Pendahuluan

Kopi merupakan minuman populer yang banyak dikonsumsi di dunia karena memiliki cita rasa dan aroma yang khas, serta berkhasiat bagi tubuh. Secara global, kopi Arabika paling banyak diproduksi karena memiliki kualitas yang lebih unggul dibanding kopi lainnya. Tahun 2022, tingkat produksi kopi Arabika mencapai 98,6 juta kantong (60 kg) atau

sekitar 57,55% dari total produksi kopi dunia (ICO-International Coffee Organization, 2023). Kualitas kopi mengacu pada karakteristik sensori dan bioaktivitas yang dihasilkan. Atribut karakteristik sensori meliputi: aroma, rasa, rasa akhir, keasaman, *body*, keseragaman, keseimbangan, manis, kebersihan dan skor akhir (Arenas et al., 2022). Kopi Arabika memiliki rasa yang lebih manis dan lembut dengan rasa gula, coklat dan buah-buahan

(ICO-International Coffee Organization, 2020).

Kopi Arabika ditemukan hampir di seluruh wilayah dataran tinggi Papua, termasuk Tiom, kabupaten Lanny Jaya. Kopi Arabika dari Tiom dikenal dengan nama kopi Tiom. Kopi Tiom ditanam dengan sistem organik pada ketinggian 2000 mdpl. Menariknya kopi Tiom memiliki karakteristik sensori yang unik (*low acidity, high sweetness-dry mango, orange peel aroma-choco finished*) dan meninggalkan rasa yang konsisten dari awal hingga akhir penyeduhan. Hal inilah yang mengantarkan kopi Tiom menjadi pemenang pada Festival Kopi Papua tahun 2018. Kopi Tiom berhasil dilelang dengan harga mencapai Rp 5,3 juta/kg pada festival tersebut.

Secara kimiawi, karakteristik sensori berkaitan dengan komposisi senyawa kimia yang terkandung di dalam biji kopi (Farah et al., 2006), (Munyendo et al., 2021), Arenas et al., 2022). Komposisi senyawa kimia dalam kopi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: spesies, varietas, asal geografis, proses pengolahan pra dan pasca panen, serta tingkat penyangraian (Wei et al., 2014, Arenas et al., 2022, Velásquez & Banchón, 2023, Vezzulli et al., 2023).

Metode yang umumnya digunakan dalam proses pengolahan pasca panen adalah proses basah, semi-kering dan

kering (de Melo Pereira et al., 2019). Proses kering sering disebut dengan proses natural. Pada proses natural, buah kopi langsung dijemur di bawah sinar matahari hingga diperoleh biji kopi dengan kadar air 10-12%. Setelah kering, biji kopi tersebut dikupas menggunakan mesin untuk memisahkan kulit dan biji kopi (Schwan et al., 2012). Proses natural menghasilkan kopi yang memiliki *body* yang kaya dengan karakteristik manis (*sweet*) (Cao et al., 2023). Kopi natural memiliki profil sensori yang lebih tinggi dibanding proses lainnya (Arenas et al., 2022).

Proses pengolahan pasca panen berperan penting terhadap pembentukan senyawa keton dan ester, sedangkan proses penyangraian berpengaruh terhadap pembentukan senyawa furan, fenolik, ester, pirazin, pirol dan komponen belerang (de Melo Pereira et al., 2019). Senyawa-senyawa tersebut berperan menghasilkan aroma dan rasa yang khas serta memberikan manfaat bagi kesehatan.

Tingkat penyangraian yang umumnya digunakan dalam industri kopi adalah *light* (193–199 °C), *medium* (204–214 °C) dan *dark* (213–221 °C) (Widodo et al., 2023). Biji kopi yang disangrai pada tingkat *medium* memiliki potensi fenolik dan aktivitas antioksidan yang lebih baik dibanding tingkat *light* dan *dark* (Wu et al., 2022).

Senyawa kimia dalam kopi hijau maupun kopi sangrai dapat dianalisis dengan berbagai teknik analitik, termasuk NMR, LC-MS dan GC-MS (de León-Solis et al., 2023). Penggabungan teknik ekstraksi modern dengan GC-MS seperti SPME-GC-MS dan HS-SPME/GC-MS banyak diterapkan untuk analisis senyawa volatil, terutama yang berkontribusi terhadap karakteristik sensori kopi (Caporaso et al., 2018, Arenas et al., 2022, Galarza & Figueroa, 2022).

Pada laporan ini, identifikasi senyawa kimia dalam kopi dilakukan dengan metode GC-MS. Sampel kopi yang digunakan adalah biji kopi varietas Arabika Typica yang diperoleh dari Tiom, Kabupaten Lanny Jaya, Provinsi Papua Pegunungan. Kopi tersebut diproses secara natural dan disangrai pada tingkat medium. Sampel diekstraksi dengan metode soxhletasi menggunakan metanol. Penelitian ini memberikan informasi ilmiah mengenai senyawa kimia yang terkandung dalam ekstrak kopi sangrai Tiom.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain: peralatan gelas laboratorium, neraca analitik, magnetik stirrer, seperangkat alat soxhlet, rotaray

evaporator dan GC-MS QP2010S (Shimadzu). Bahan yang digunakan adalah: metano p.a., dan akuades.

Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji kopi hijau varietas Arabika Typica yang diperoleh dari Tiom, kabupaten Lanny Jaya. Biji kopi tersebut diproses dengan metode natural.

Prosedur Kerja

Penyiapan dan Ekstraksi Sampel

Kopi Tiom disangrai dengan tingkat penyangraian medium hingga diperoleh biji kopi yang berwarna coklat tua. Biji kopi yang telah disangrai, didinginkan, kemudian dihaluskan dan diayak untuk mendapatkan serbuk kopi dengan ukuran yang seragam. Selanjutnya, sebanyak 100 g serbuk kopi sangrai diekstraksi dengan metode soxhletasi menggunakan 300 mL metanol sebagai pelarut. Ekstraksi dilakukan pada suhu 64°C selama 5 jam. Ekstrak cair yang diperoleh disaring, kemudian dipekatkan menggunakan rotary evaporator.

Pengukuran GC-MS

Ekstrak yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan GC-MS QP2010S (Shimadzu) dengan kolom Rtx 5 (panjang

30 meter, ID 0,25 mm, film 0,25 μm). Gas helium digunakan sebagai fase gerak. Mode pengionan yang digunakan adalah EI 70 eV. Temperatur oven kolom diatur pada suhu 70°C sedangkan temperatur injektor diatur pada 300°C dengan mode *splitless*. Laju alir total 28 mL/menit, laju alir kolom 0,5 mL/menit dan kecepatan linear 25,9 cm/detik. Spektra massa diatur pada mode *scan* dengan kecepatan 1250 mulai dari m/z 28 sampai 600.

Identifikasi Senyawa Kimia

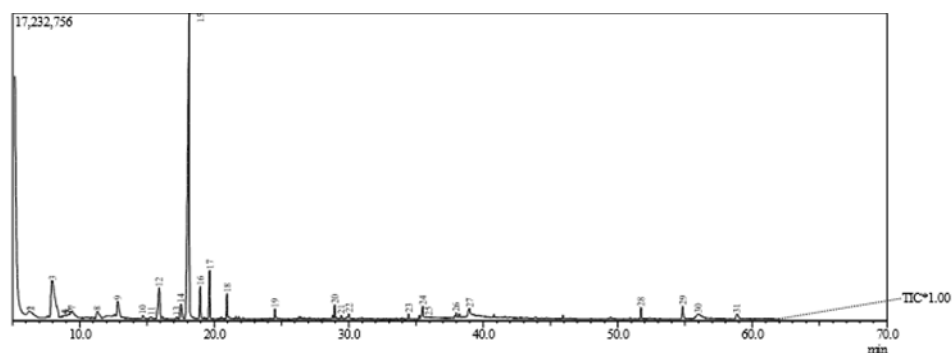
Senyawa kimia yang terdapat dalam sampel kopi Tiom diidentifikasi dengan cara membandingkan pola fragmentasi m/z senyawa target yang terdeteksi pada kromatogram GC-MS dengan pola fragmentasi m/z senyawa referensi dari data library (WILEY229.LIB dan NIST62.LIB). Senyawa yang telah diidentifikasi, selanjutnya dikonfirmasi dengan berbagai literatur yang relevan.

Hasil dan Pembahasan

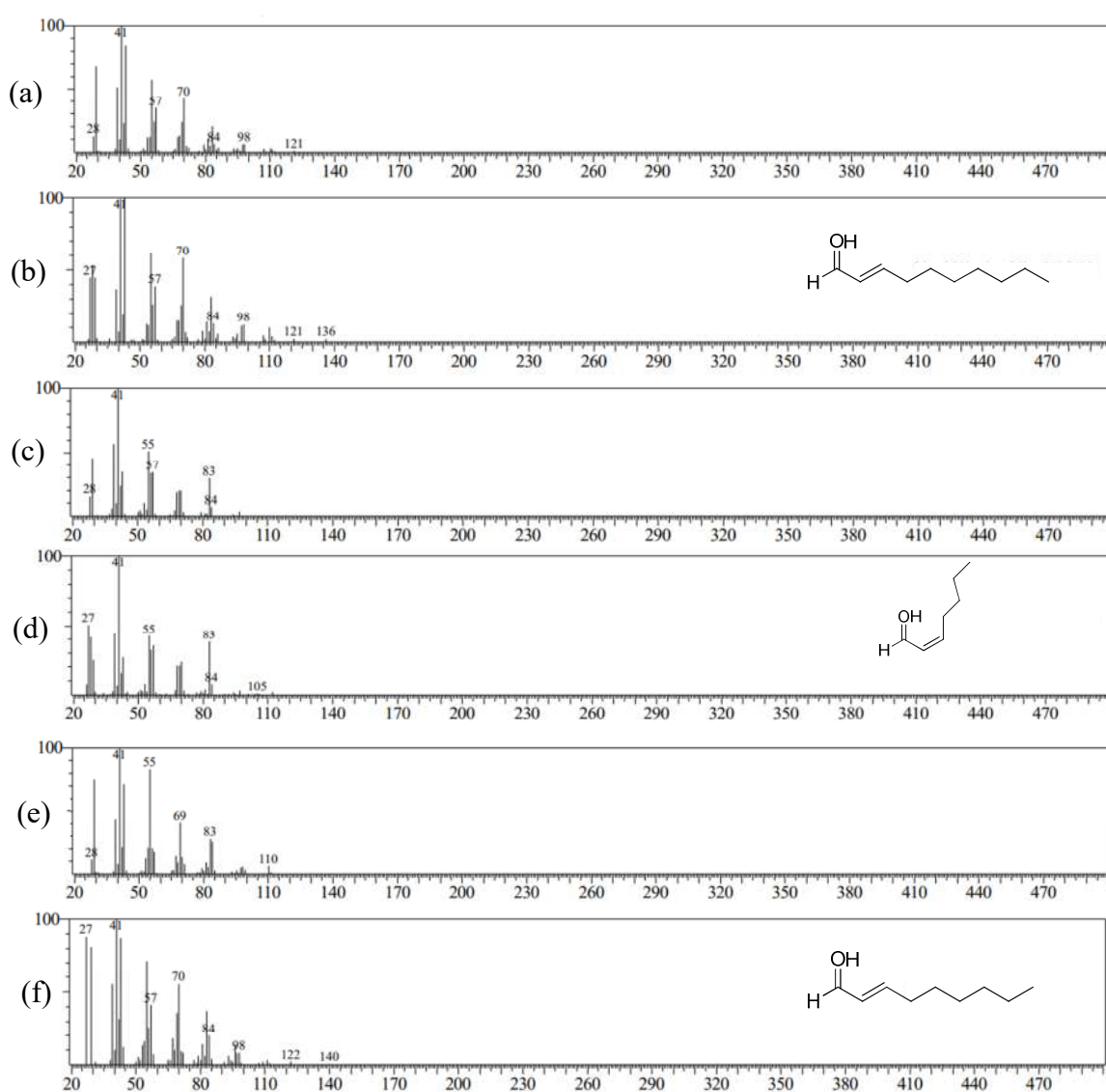
Kopi adalah minuman yang berasal dari pengolahan biji tanaman kopi (Klingel et al., 2020). Pengolahan biji kopi merupakan tahapan penting yang menentukan kualitas kopi. Kualitas kopi dipengaruhi oleh komposisi senyawa kimia yang terkandung di dalamnya (Farah et al., 2006). Senyawa kimia yang

berkontribusi terhadap karakteristik sensori kopi (aroma, rasa dan warna) terbentuk karena terjadinya pirolisis, reaksi Maillard dan karamelisasi serta pelepasan CO_2 selama proses penyangraian (da Costa et al., 2023).

Pada penelitian ini, penyangraian dilakukan pada tingkat medium. Ekstraksi dilakukan dengan metode soxhletasi menggunakan metanol sebagai pelarut, sedangkan identifikasi senyawa dilakukan dengan metode GC-MS. Sebanyak 31 puncak terdeteksi pada kromatogram GC-MS ekstrak kopi sangrai Tiom (Gambar 1). Hal tersebut menunjukkan bahwa ada 31 senyawa kimia yang terdeteksi pada sampel kopi tersebut. Senyawa target yang terdeteksi pada waktu retensi 18,140 menit sebagai puncak 15 adalah senyawa yang paling dominan (47,62%). Senyawa target lain yang juga ditemukan cukup tinggi terdeteksi sebagai puncak 3 (13,43%) dan 12 (5,05%) dengan waktu retensi berturut-turut 7,963 dan 15,896 menit, sedangkan senyawa target lainnya terdeteksi dalam jumlah yang lebih rendah (kurang dari 5%). Informasi mengenai senyawa target yang terdeteksi dalam sampel kopi Tiom ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Kromatogram GC-MS ekstrak kopi sangrai Tiom



Gambar 2. Pola fragmentasi m/z senyawa target dan senyawa referensi : senyawa target puncak 15 (a), (E)-2-dekenal (b), senyawa target puncak 3 (c), (E)-2-heptenal (d), senyawa target puncak 12 (e) dan (E)-2-nonenal (f).

Puncak-puncak yang terdeteksi pada kromatogram GC-MS dianalisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi senyawa kimia yang terdapat dalam sampel kopi Tiom. Identifikasi dilakukan dengan cara membandingkan pola fragmentasi senyawa target terhadap pola fragmentasi senyawa dari data referensi *library* (WILEY229.LIB dan NIST62.LIB).

Senyawa target pada puncak 15 memiliki pola fragmentasi m/z 28, 41, 57, 70, 84, 94 dan 121 yang mirip dengan pola fragmentasi m/z (E)-2-dekenal. Pola fragmentasi m/z senyawa target pada puncak 3 adalah 28, 41, 55, 57, 83 dan 84 memiliki kemiripan dengan (Z)-2-heptenal. Sementara itu, senyawa target pada puncak 12 dengan pola fragmentasi m/z 28, 41, 55, 69, 83, dan 110 memiliki kemiripan dengan (E)-2-nonenal. Pola fragmentasi m/z dari senyawa target (puncak 15, 3 dan 12) dan senyawa referensi ((E)-2-dekenal, (Z)-2-heptenal, dan (E)-2-nonenal) diilustrasikan pada Gambar 2. Senyawa target yang terdeteksi pada puncak lainnya dianalisis dengan cara yang sama.

Berdasarkan analisis terhadap pola fragmentasi m/z senyawa target, sebanyak 31 senyawa berhasil diidentifikasi, termasuk 11 aldehid, 2 asam lemak, 5 ester, 2 furanon, 7 hidrokarbon, 2 keton, 1 piranon dan 1 sterol. Identifikasi senyawa

kimia dalam ekstrak kopi sangrai Tiom secara rinci diberikan pada Tabel 1.

Aldehid adalah kelompok senyawa yang ditemukan paling dominan dalam sampel ekstrak kopi Arabika sangrai Tiom. Tiga senyawa aldehid yang teridentifikasi paling banyak dalam sampel yang dianalisis adalah (E)-2-dekenal (47,62%), (Z)-2-heptenal (13,43%) dan (E)-2-nonenal (5,05%), sedangkan senyawa lainnya ditemukan dalam jumlah yang lebih sedikit (dibawah 5%). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilaporkan De Vivo et al. (2023) bahwa kopi Arabika umumnya mengandung aldehid dalam jumlah yang lebih tinggi.

Aldehid merupakan senyawa volatil yang berperan dalam menghasilkan berbagai karakteristik sensori kopi, termasuk *pungent*, *fruity*, *malty*, *green*, *grassy*, *sweet*, *woody*, *almond*, *spice*, *caramel* dan *maple* (Caporaso et al., 2018). Senyawa volatil lain yang juga berperan menghasilkan karakteristik sensori kopi adalah keton, furanon, furan, senyawa belerang dan pirazin (Angeloni et al., 2021). Karakter sensori yang dihasilkan bergantung pada komposisi senyawa volatil yang terkandung dalam kopi (Caporaso et al., 2018).

Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa karakteristik sensori yang unik dengan aroma wangi buah-buahan (*fruity*) yang bertekstur tajam dan rasa

manis (*sweet*) yang konsisten dari kopi Tiom berasal dari aldehid, ester, furanon, keton, dan piranon yang terkandung didalamnya. Namun aldehid merupakan

kelompok senyawa yang paling berkontribusi terhadap karakteristik sensori unik yang dihasilkan kopi Tiom.

Tabel 1. Identifikasi senyawa kimia dalam ekstrak kopi sangrai Tiom

No	Kelompok Senyawa	Senyawa	No.Puncak	Waktu Retensi (menit)	% Area
1	Aldehid	(E)-2-Dekenal	15	18,14	47,62
2	Aldehid	(E)-2-Nonenal	12	15,896	5,05
3	Aldehid	(Z)-2-Nonenal	10	14,69	0,52
4	Aldehid	(E)-2-Oktenal	8	11,31	1,58
5	Aldehid	(E,Z)-2,4-Dekadienal	17	19,657	3,93
6	Aldehid	(Z)-2-Dekenal	14	17,526	2,51
7	Aldehid	(Z)-2-Heptenal	3	7,963	13,43
8	Aldehid	E-2-Undekenal	18	20,949	1,79
9	Aldehid	Nonanal	9	12,828	2,71
10	Aldehid	Oktanal	7	9,402	1,86
11	Aldehid	Sikloheksanal	1	6,258	0,74
12	Asam lemak	Asam 9-oktadekenoat (asam oleat)	27	38,976	1,55
13	Asam lemak	Asam heksadekanoat (asam palmitat)	24	35,495	1,7
14	Ester	Metil (Z)-dek-2-enoat	6	9,2	0,36
15	Ester	Metil 2-oksanonanoat	28	51,716	0,91
15	Ester	Metil-11-oktadekanoat	26	37,985	0,39
17	Ester	Metil-14-metil-pentadekanoat	23	34,449	0,46
18	Ester	Vinil metanoat	5	9,033	0,37
19	Furanon	5-Etil-2(5H)-furanon	2	6,367	1,01
20	Furanon	5-Metil-2(3H)-furanon	11	15,302	0,32
21	Hidrokarbon	1-Desin	16	18,96	2,77
22	Hidrokarbon	1-Tetradekane	20	28,951	1,02
23	Hidrokarbon	4-Undesin	13	17,213	0,31
24	Hidrokarbon	6-Metil-oktadekana	31	58,853	1,06
25	Hidrokarbon	Dodekane	19	24,517	0,78
26	Hidrokarbon	Tridekane	21	29,429	0,42
27	Hidrokarbon	Undekana	25	35,909	0,33
28	Keton	3-Oktanon	4	8,858	0,44
29	Keton	8-Pentadekanon	29	54,824	1,38
30	Piranon	6-Heptiltetrahidro-2H-piran-2-on	22	30,005	0,55
31	Sterol	4- α -Metil-3- β -8,24-kolestadienol	30	55,982	2,14

Penelitian lain melaporkan sampel kopi dari UK dan Eropa terdeteksi mengandung 50 senyawa volatil dan 26 diantaranya berhasil diidentifikasi termasuk 12 keton, 12 pirazin, 5 aldehid, 4 fenol, 4 asam, 3 piridin, 3 pirol, 2 furan, 2 alkohol, 1 ester, 1 sulfida serta 1 asetat (Caporaso et al., 2022). Sementara itu, sampel kopi dari Kolombia dilaporkan mengandung 62 senyawa volatil dan 51 diantaranya dapat diidentifikasi, yaitu 13 pirazin, 10 furan, 7 keton, 3 asam, 3 furanon, 3 pirol, 3 aldehid, 2 piron, 2 fenol, 2 ester, 1 piridin, 1 lakton dan 1 alkohol (Arenas et al., 2022). Perbedaan spesies, geografis, dan pengolahan pasca panen berpengaruh pada komposisi senyawa volatil yang pada akhirnya menentukan karakteristik sensori kopi (Risticovic et al., 2008, Glarza & Figueroa, 2022, De Vivo et al., 2023).

Kesimpulan

Sebanyak 31 senyawa kimia berhasil diidentifikasi dalam ekstrak kopi sangrai Tiom menggunakan metode GC-MS. Senyawa kimia yang berhasil diidentifikasi terdiri dari 11 aldehid, 2 asam lemak, 5 ester, 2 furanon, 7 hidrokarbon, 2 keton, 1 piranon dan 1 sterol. Kelompok senyawa yang paling dominan dalam sampel kopi Tiom adalah aldehid. Tiga jenis aldehid yang ditemukan dalam jumlah yang paling banyak adalah (E)-2-dekenal (47,62%), (Z)-2-heptenal

(13,43%) dan (E)-2-nonenal (5,05%). Aldehid merupakan kelompok senyawa volatil yang paling bertanggungjawab terhadap karakteristik sensori unik yang dihasilkan kopi Tiom.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Fakultas MIPA Uncen yang telah memberikan bantuan dana PNPB tahun 2020 sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan. Terima kasih juga disampaikan kepada Laboratorium Organik FMIPA UGM yang telah membantu dalam pengukuran GC-MS.

Daftar Pustaka

- Angeloni, S., Mustafa, A. M., Abouelenein, D., Alessandrini, L., Acquaticci, L., Nzekoue, F. K., Petrelli, R., Sagratini, G., Vittori, S., Torregiani, E., & Caprioli, G. (2021). Characterization of the aroma profile and main key odorants of espresso coffee. *Molecules*, 26(13), 1–29. <https://doi.org/10.3390/molecules26133856>
- Arenas, A. F., Hincapié, A. M. V., & Ocampo, G. T. (2022). Effects of post-harvest process on volatile-sensory profile for coffee in Colombia. *Coffee Science*, 17. <https://doi.org/10.25186/v17i.2016>
- Cao, X., Wu, H., Viejo, C. G., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. R. (2023). Effects of postharvest processing on aroma formation in roasted coffee – a review. *International Journal of Food*

- Science and Technology*, 58(3), 1007–1027.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.16261>
- Caporaso, N., Whitworth, M. B., Cui, C., & Fisk, I. D. (2018). Variability of single bean coffee volatile compounds of Arabica and robusta roasted coffees analysed by SPME-GC-MS. *Food Research International*, 108(March), 628–640.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.077>
- Caporaso, N., Whitworth, M. B., & Fisk, I. D. (2022). Prediction of coffee aroma from single roasted coffee beans by hyperspectral imaging. *Food Chemistry*, 371(May 2021), 131159.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131159>
- da Costa, D. S., Albuquerque, T. G., Costa, H. S., & Bragotto, A. P. A. (2023). Thermal Contaminants in Coffee Induced by Roasting: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(8).
<https://doi.org/10.3390/ijerph20085586>
- de León-Solis, C., Casasola, V., & Monterroso, T. (2023). Metabolomics as a tool for geographic origin assessment of roasted and green coffee beans. *Heliyon*, 9(11).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21402>
- de Melo Pereira, G. V., de Carvalho Neto, D. P., Magalhães Júnior, A. I., Vásquez, Z. S., Medeiros, A. B. P., Vandenberghe, L. P. S., & Soccol, C. R. (2019). Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review. *Food Chemistry*, 272(August 2018), 441–452.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.061>
- De Vivo, A., Balivo, A., & Sarghini, F. (2023). Volatile Compound Analysis to Authenticate the Geographical Origin of Arabica and Robusta Espresso Coffee. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(9).
<https://doi.org/10.3390/app13095615>
- Farah, A., Monteiro, M. C., Calado, V., Franca, A. S., & Trugo, L. C. (2006). Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chemistry*, 98(2), 373–380.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.032>
- Galarza, G., & Figueroa, J. G. (2022). Volatile Compound Characterization of Coffee (*Coffea arabica*) Processed at Different Fermentation Times Using SPME–GC–MS. *Molecules*, 27(6).
- ICO-International Coffee Organization. (2020). The Value of Coffee: Sustainability, Inclusiveness and Resilience of the Coffee Global Value Chain. In *International Coffee Organization*.
<https://www.internationalcoffeecouncil.com/cdr2020>
- ICO-International Coffee Organization. (2023). *Coffee Report and Outlook (CRO)*.
https://icocoffee.org/documents/cy2022-23/Coffee_Report_and_Outlook_April_2023_-_ICO.pdf
- Klingel, T., Kremer, J. I., Gottstein, V., De Rezende, T. R., Schwarz, S., & Lachenmeier, D. W. (2020). A review of coffee by-products including leaf, flower, cherry, husk, silver skin, and spent grounds as novel foods within the European Union. *Foods*, 9(5).
<https://doi.org/10.3390/foods9050665>
- Munyendo, L. M., Njoroge, D. M., Owaga, E. E., & Mugendi, B. (2021). Coffee

- phytochemicals and post-harvest handling—A complex and delicate balance. *Journal of Food Composition and Analysis*, 102(May), 103995.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103995>
- Risticvic, S., Carasek, E., & Pawliszyn, J. (2008). Headspace solid-phase microextraction-gas chromatographic-time-of-flight mass spectrometric methodology for geographical origin verification of coffee. *Analytica Chimica Acta*, 617(1–2), 72–84.
<https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.04.009>
- Schwan, R., Silva, C., & Batista, L. (2012). Coffee Fermentation. *Handbook of Plant-Based Fermented Food and Beverage Technology, Second Edition*, May, 677–690.
<https://doi.org/10.1201/b12055-49>
- Velásquez, S., & Banchón, C. (2023). Influence of pre-and post-harvest factors on the organoleptic and physicochemical quality of coffee: a short review. *Journal of Food Science and Technology*, 60(10), 2526–2538.
<https://doi.org/10.1007/s13197-022-05569-z>
- Vezzulli, F., Lambri, M., & Bertuzzi, T. (2023). Volatile Compounds in Green and Roasted Arabica Specialty Coffee: Discrimination of Origins, Post-Harvesting Processes, and Roasting Level. *Foods*, 12(3).
<https://doi.org/10.3390/foods12030489>
- Wei, F., Furihata, K., Miyakawa, T., & Tanokura, M. (2014). A pilot study of NMR-based sensory prediction of roasted coffee bean extracts. *Food Chemistry*, 152, 363–369.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.161>
- Widodo, P. B., Yulianto, M. E., Ariyanto, H. D., & Paramita, V. (2023). Efficacy of natural and full washed post-harvest processing variations on arabica coffee characteristics. *Materials Today: Proceedings*, 87(xxxx), 79–85.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.376>
- Wu, H., Lu, P., Liu, Z., Sharifi-Rad, J., & Suleria, H. A. R. (2022). Impact of roasting on the phenolic and volatile compounds in coffee beans. *Food Science and Nutrition*, 10(7), 2408–2425.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.2849>