

EFFECTO DE TRES MÉTODOS DE PROCESAMIENTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DEL CAFÉ (*COFFEA ARABICA*) EN GRANO

EFFECT OF THREE PROCESSING METHODS ON THE SENSORY ATTRIBUTES OF COFFEE (*COFFEA ARABICA*)

¹ María José Andrade Rojas *	ma.joseandrade88@gmail.com
² Paúl Crow Falconi	paulmcrow@gmail.com
³ Andrés Haro Haro	andres.haro@ucuenca.edu.ec
⁴ Gabriela Alexandra Zuñiga Carpio	gabriela.zuniga@ucuenca.edu.ec

¹ Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Médicas, Carrera de Nutrición y Dietética, Cuenca, Ecuador.

² Milk and Meat, Consultora Internacional, Departamento del conocimiento ganadero, Riobamba, Ecuador.

³ Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Laboratorio de Bromatología. Cuenca, Ecuador.

E-mail: * ma.joseandrade88@gmail.com

RESUMEN

En los últimos años, se ha intensificado la búsqueda de tecnologías innovadoras de poscosecha en la producción de café de especialidad. La fermentación microbiana es una herramienta prometedora para modular los atributos sensoriales. Por lo tanto, el estudio evaluó el efecto de tres métodos de procesamiento poscosecha sobre el perfil sensorial de *Coffea arabica* (var. Caturra rojo) cultivada en Gualaquiza, Ecuador. Las cerezas de café se sometieron a secado natural acelerado mediante, una fermentación anaeróbica espontánea y una fermentación experimental inoculada con líquido ruminal. Todas las muestras se tostaron hasta un perfil Vienna (Agtron 50) y se molieron hasta 1200 µm. El análisis sensorial fue realizado por un sommelier certificado y tres catadores profesionales utilizando 8,3 g de café/150 mL de agua. No se observaron diferencias significativas en las relaciones pulpa:grano y pergamino:grano ($P > 0,05$), ni en el porcentaje de granos verdes limpios ($P = 0,101$). Sin embargo, el recuento de defectos totales, primarios y secundarios varió entre tratamientos ($P < 0,05$), con las puntuaciones más altas en el grupo de secado acelerado. El análisis de aroma del café molido mostró diferencias significativas ($P = 0,026$). La fermentación con líquido ruminal mostró el perfil más complejo, con notas cítricas, florales y achocolatadas; la fermentación espontánea presentó matices cítricos y bosque, mientras que el secado acelerado arrojó matices silvestres. No se observaron diferencias en el sabor en taza ($P = 0,622$), sin embargo una tendencia en la sensación en boca ($P = 0,064$), con mayor profundidad y equilibrio aromático en el grupo inoculado. Estos hallazgos demuestran que la inoculación con microbiota ruminal exógena

puede mejorar y diversificar el perfil organoléptico de los granos de café, abriendo nuevas posibilidades para estrategias fermentativas controladas en la producción de café de especialidad.

Palabras clave: *Coffea arabica*, fermentación anaeróbica, líquido ruminal, procesamiento poscosecha, perfil sensorial.

ABSTRACT

In recent years, the search for innovative postharvest technologies in specialty coffee production has intensified. Microbial fermentation has emerged as a promising tool to modulate sensory attributes. Therefore, the present study aimed to evaluate the effect of three postharvest processing methods on the sensory profile of *Coffea arabica* (cv. Caturra rojo) cultivated in Gualaquiza, Ecuador. Coffee cherries were subjected to accelerated natural drying, spontaneous anaerobic fermentation, and experimental fermentation inoculated with ruminal fluid. All samples were roasted to a Vienna profile (Agtron 50) and ground to 1200 µm particle size. Sensory analysis was conducted using 8.3 g of coffee per 150 mL of water by a certified sommelier and three professional cuppers. No significant differences were observed in pulp-to-bean and parchment-to-bean ratios ($P > 0.05$), nor in the percentage of clean green beans ($P = 0.101$). Nevertheless, total, primary, and secondary defect counts differed among treatments ($P < 0.05$), with the highest scores observed in the accelerated

drying group. Ground coffee aroma analysis revealed significant differences ($P = 0.026$). The ruminal fluid-inoculated fermentation exhibited the most complex aromatic profile, including citrus, floral, and chocolate notes. The spontaneous fermentation yielded citrus and forest nuances, whereas the accelerated drying treatment showed wild notes. No differences were observed in cup flavor ($P = 0.622$), although a trend was detected in mouthfeel perception ($P = 0.064$), with greater depth and aromatic balance in the inoculated group. These findings suggest that inoculation with exogenous ruminal microbiota may enhance and diversify the organoleptic profile of coffee beans, opening new perspectives for controlled fermentation strategies in specialty coffee production.

Keywords: *Coffea arabica*, anaerobic fermentation, rumen fluid, post-harvest processing, sensory profile.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de *Coffea arabica* en Ecuador ha experimentado un crecimiento en las últimas décadas, consolidándose como una actividad estratégica para la agricultura familiar campesina y la economía rural del país (MAG, 2023). Esta expansión no sólo responde a un aumento en el área cultivada, sino también a una creciente valorización de los cafés especiales en el mercado nacional e internacional. Además de Ecuador, países como Colombia, Etiopía y Brasil han liderado el avance en técnicas de producción, procesamiento y comercialización, posicionándose como referentes globales en la industria del café de alta calidad (Tassew et al., 2022, Wright et al., 2024).

Uno de los factores más influyentes en la calidad final del café es el método de procesamiento postcosecha, ya que este incide directamente en el desarrollo del perfil sensorial del grano. Métodos tradicionales como el natural (seco), el lavado y el honey (semi-lavado) han sido ampliamente utilizados en diferentes regiones productoras (Váradý et al., 2024). Sin embargo, en años recientes, han ganado protagonismo métodos experimentales y artesanales de fermentación, que permiten modificar y enriquecer el perfil organoléptico del café, respondiendo a una demanda de consumidores cada vez más exigentes y especializados (De Bruyn et al., 2017; Zhang et al., 2019).

Por lo tanto, los pequeños productores han comenzado a implementar prácticas innovadoras que abarcan desde el manejo agronómico del cultivo, incluyendo altitud, sombra, nutrición y sanidad, hasta la cosecha selectiva y los procesos de fermentación y tostado, los cuales

son determinantes para la expresión de características sensoriales como el aroma, la acidez, el cuerpo y el sabor residual (Ferreira et al., 2022).

Particularmente, la fermentación postcosecha juega un rol clave en la transformación bioquímica del mucílago y en la generación de precursores aromáticos. La acción de microorganismos durante esta fase modula la liberación de compuestos volátiles, ácidos orgánicos y precursores del sabor, lo que repercute directamente en la calidad de la bebida final (Zhao et al., 2023). En términos técnicos, la exploración de nuevas fuentes fermentativas, como el uso de cultivos microbianos no convencionales o inoculantes experimentales, ha abierto nuevas posibilidades para diversificar los perfiles sensoriales y mejorar la trazabilidad y estandarización del producto.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de dos tratamientos artesanales y una fermentación experimental *in vitro* sobre el perfil sensorial del café *Coffea arabica*, cultivado a pequeña escala. Los tratamientos incluyeron dos procesos artesanales postcosecha y un proceso de fermentación experimental inoculada con líquido ruminal, con el fin de comparar su impacto sobre los atributos organolépticos y potencial de diferenciación del grano.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y zona de estudio

Se utilizaron cerezas maduras de *Coffea arabica*, variedad Caturra rojo, provenientes del cantón Gualaquiza, provincia de Morona Santiago, Ecuador (altitud: 1032 msnm). Las cerezas fueron cosechadas manualmente en su punto óptimo de madurez (color rojo intenso y firmeza media), descartando frutos verdes o sobremaduros.

Diseño experimental y tratamientos postcosecha

Las cerezas seleccionadas fueron homogéneamente distribuidas en tres grupos experimentales, a los cuales se aplicaron distintos tratamientos postcosecha. El primer tratamiento consistió en un secado natural acelerado (SNA). Las cerezas se colocaron en una estufa de aire forzado (Memmert GmbH + Co. KG, modelo UN 110) a 60 °C durante 24 h, simulando un proceso de secado rápido. Finalizado este periodo, la cáscara seca fue retirada manualmente y los granos en pergamino se continuaron secando hasta alcanzar una humedad final entre el 10 y 12 %. El segundo tratamiento correspondió a una fermentación anaeróbica espontánea (FAE). Las

cerezas fueron colocadas en viales herméticos con válvula de escape de CO₂ y fermentadas de manera anaeróbica durante 48 h a temperatura ambiente (24 °C). Para estimular la actividad microbiana, se adicionó azúcar refinada en 10 g/kg de cerezas. Finalizado el proceso, se realizó el despulpado manual y los granos en pergamino fueron secados siguiendo el mismo procedimiento del tratamiento 1.

El tercer tratamiento fue una fermentación experimental con líquido ruminal (FLR). Se adaptó la metodología de fermentación *in vitro* descrita por Haro *et al.* (2020). Las cerezas se incubaron durante 24 h a 39 °C en una solución 1:4 compuesta por líquido ruminal fresco filtrado y un medio de cultivo tamponado, en una incubadora con rotación continua (TE-150 TECNAL, Brasil). Esta solución fue previamente gaseada durante 10 min con CO₂ para establecer condiciones anaerobias. Posteriormente, las cerezas fueron lavadas, despulpadas y los granos en pergamino se secaron siguiendo el mismo procedimiento del tratamiento 1. Se espera que la microbiota ruminal, a través de su actividad enzimática extracelular, facilite la descomposición del mucílago y mejore el desarrollo de precursores aromáticos (De Bruyn *et al.*, 2017; Haro *et al.*, 2024).

Tueste del café y Análisis sensorial

Todos los tratamientos fueron sometidos a un tueste estandarizado tipo Viena (Agtron 50) utilizando un tostador de tambor (Roest AD, Coffee, Oslo, Noruega), bajo condiciones controladas según el protocolo de tueste medio de la Specialty Coffee Association (SCA, 2015). Las muestras fueron molidas hasta alcanzar un tamaño de partícula teórico de 1200 µm.

La evaluación sensorial fue realizada por un sommelier certificado, junto con tres catadores experimentados. Se utilizó una proporción estándar de 8,3 g de café por 150 mL de agua, aplicándose cuatro réplicas por grupo experimental. Se valoraron 3 atributos: Aroma en seco o molido (notas suaves, silvestres, cítricas, florales, chocolatosas). Aroma en taza (intensidad aromática, congruencia con el aroma en seco). Sabor en boca (dulzor, acidez, complejidad, cuerpo, notas dominantes). Además, se determinó la percepción microbiológica (indicativa): baja, media o alta según la intensidad aromática fermentativa. Esta clasificación se estableció de manera cualitativa, sin una cuantificación directa.

Análisis estadístico

Se aplicó un procedimiento GLM para comparar los efectos de los tratamientos postcosecha sobre los

atributos sensoriales. Se utilizó el software SAS v9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Cuando se observó un efecto significativo entre los tratamientos ($P < 0,05$), se utilizó la prueba de Tukey para las comparaciones de medias. Se declaró significancia en $P < 0,05$, mientras que los valores de $P < 0,10$ se consideraron una tendencia.

3. RESULTADOS

El efecto de la fermentación mediante secado natural acelerado (SNA), fermentación anaeróbica espontánea (FAE) y fermentación *in vitro* con líquido ruminal (FLR) sobre los parámetros físicos y de calidad del grano verde de *Coffea arabica*, variedad Caturra rojo se muestran en la **tabla 1**. No se observaron diferencias significativas ($P > 0,05$) en la relación pulpa:grano ni en la relación pergamino:grano, con valores promedio de 4,63 y 1,24 g/g, respectivamente. De igual manera, el porcentaje de grano verde limpio no difirió entre tratamientos ($P = 0,101$).

Por otro lado, se identificaron diferencias en el porcentaje total de defectos, así como en los defectos primarios y secundarios entre los métodos de fermentación ($P < 0,05$). El tratamiento SNA presentó valores promedio superiores de defectos totales, primarios y secundarios en comparación con FAE y FLR, con diferencias absolutas de hasta 1,0%, 0,2% y 0,8%, respectivamente. Asimismo, se observó una tendencia a mayor contenido de humedad en los granos fermentados mediante FLR en comparación con los otros métodos ($P = 0,075$).

Tabla 1. Efecto de los métodos de fermentación sobre los parámetros físicos y de calidad del grano de Café Caturra rojo.

Ítem ¹	SNA	FAE	FLR	EEM ²	P valor
Relación pulpa:grano g/g	4,63	4,61	4,66	0,239	0,989
Relación pergamino grano, g/g	1,24	1,23	1,24	0,084	0,848
Grano verde limpio, %	89,2	90,7	90,8	0,487	0,101
Defectos totales, %	9,90	9,23	8,57	0,268	0,035
defectos primarios, %	1,35	1,26	1,11	0,075	0,040
Defectos secundarios, %	8,55	7,96	7,46	0,154	0,003
Humedad, %	10,7	10,7	11,2	0,158	0,075

¹ SNA: Secado natural acelerado FAE: fermentación anaeróbica espontánea, FLR: fermentación experimental con líquido ruminal. ²EEM: error estandar de la media.

Los métodos de fermentación evaluados generaron una progresión en la actividad microbiológica (**Tabla 2**), que fue desde una baja o nula actividad (SNA), una actividad intermedia (FAE) y una elevada actividad microbiana (FLR). En el aroma del grano molido se identificaron diferencias sensoriales entre tratamientos ($P = 0,026$). El tratamiento FAE presentó un perfil aromático caracterizado por notas cítricas y bosque, con una puntuación promedio de 9,25. El tratamiento SNA, mostró notas silvestres y una puntuación de 9,00. Curiosamente, el tratamiento FLR mostró un perfil más complejo, con notas cítricos, flores y chocolate, pero con una puntuación menor de 8,50.

El aroma en taza, no presentó diferencias sensoriales

entre los tratamientos ($P = 0,622$). No obstante, se observó una tendencia diferenciada en los perfiles de SNA, que presentaron un aroma dulce, tenue y una puntuación de 8,25. El FAE mostró un aroma intensamente cítrico con una puntuación de 8,75 y FLR fue percibido como un aroma complejo, con notas cítricas y de bosque y una puntuación de 8,50. En el análisis del sabor en boca, se evidenció una tendencia hacia diferencias sensoriales ($P = 0,064$). El tratamiento FLR obtuvo la puntuación más alta (9,75), asociado a un perfil complejo, floral, dulce y ácido. La FAE le siguió con 9,00, destacándose por su alta acidez y notas cítricas, mientras que SNA obtuvo 8,50, caracterizado por un dulzor moderado.

Tabla 2. Efecto de los métodos de fermentación sobre las caracterización sensorial del Café Caturra rojo postmolienda.

Ítem ¹	SNA	Rango	FAE	Rango	FLR	Rango	EEM ²	P valor
Microbiología activa	Baja	–	Media	–	Alta	–	–	–
Aroma en molido	Suave, silvestre	9,00	Cítricos, bosque	9,25	Cítricos, flores, chocolate	8,50	0,399	0,026
Aroma en bebida	Dulce, tenue	8,25	Cítrico intenso	8,75	Cítrico, bosque	8,50	0,354	0,622
Sabor en boca	Dulzor moderado	8,50	Alta acidez, notas cítricas	9,00	Complejo, floral, dulce y ácido	9,75	0,323	0,064

¹ Microbiología activa: Baja (sin actividad), Media (lácticas, levaduras), Alta (protozoos, bacterias). ²Error estándar de la media. $n = 4$

4. DISCUSIÓN

Los resultados indican que el tipo de fermentación puede influir en la calidad física del grano de café, particularmente en lo que respecta a la reducción de defectos. La presencia de defectos primarios y secundarios impacta de manera directa en la puntuación sensorial del café, según la Specialty Coffee Association (SCA, 2015), lo que afectara su valor comercial. En este estudio, la fermentación *in vitro* con líquido ruminal (FLR) redujo significativamente los defectos, lo que sugiere una ventaja potencial de este método en condiciones de pequeña escala o producción artesanal. Este efecto probablemente se atribuye a la actividad microbiana que aceleró los procesos de fermentación pectinolítica durante la degradación del mucílago (Haro *et al.*, 2020), facilitando la liberación de compuestos aromáticos y precursores del sabor (Haile y Kang, 2019; Tassew *et al.*, 2022).

La ausencia de diferencias en la relación pulpa:grano y pergamino:grano concuerda con lo reportado por Avallone *et al.* (2001) y Lu *et al.* (2023), quienes señalaron que la anatomía del fruto y el peso relativo de las fracciones estructurales no se ven afectados por

el tipo de fermentación, sino probablemente por la variedad genética y el grado de madurez al momento de la cosecha. El porcentaje de grano verde limpio, si bien no mostró diferencias significativas, fue ligeramente superior en FAE y FLR, alineándose con lo descrito por Knopp *et al.* (2006), quienes reportan mejoras en la retención de calidad visual del grano bajo fermentaciones controladas. La ligera tendencia al aumento en el contenido de humedad del grano cuando se aplicó el FLR podría explicarse por la exposición a condiciones menos estandarizadas en el secado, ya que este método suele implicar mayor contacto con la humedad ambiental. Una humedad final superior al 11% podría aumentar el riesgo de deterioro durante el almacenamiento (Joët *et al.*, 2010), aunque en este estudio no se superó dicho umbral.

La caracterización sensorial estuvo influenciada principalmente por el método de fermentación, especialmente en lo que respecta al aroma en grano molido (Zhao *et al.*, 2023). El mayor puntaje sensorial obtenido con el método FAE coincide con estudios que destacan el papel de la fermentación anaeróbica

en la expresión de notas cítricas y florales deseables (De Bruyn et al., 2017; Zhang et al., 2019; da Silva et al., 2022). Estos perfiles pueden atribuirse a una mayor producción de ésteres volátiles y aldehídos generados por microorganismos anaerobios especializados, como *Lactobacillus* y levaduras *no-Saccharomyces*, que dominan bajo condiciones anaeróbicas controladas (Martínez et al., 2022).

El tratamiento FLR mostró un perfil aromático más complejo, incluyendo notas a chocolate y flores, lo cual es consistente con trabajos donde se ha documentado que la interacción de microbiota exógena (en este caso, ruminal) y la cereza de café puede diversificar los metabolitos aromáticos en el grano (Fernandes et al., 2021; Zhao et al., 2023). Sin embargo, su menor puntuación en aroma molido sugiere que la intensidad y aceptación sensorial puede estar aún por debajo de métodos convencionales mejor establecidos, probablemente por la falta de adaptación específica de la microbiota ruminal al sustrato del café, punto de importancia al momento de considerar los tiempos de fermentación con microbiota exógena (Haro et al., 2020; Várady et al., 2024).

El sabor en boca, aunque sin diferencias estadísticas, tendió a ser más complejo y equilibrado en el tratamiento FLR. Esto podría asociarse a la actividad enzimática diferencial que favorece la liberación de precursores del sabor durante la fermentación (Zhao et al., 2023). Es importante destacar que, aunque no se observaron diferencias en el aroma de la bebida, las percepciones sensoriales tienden a verse más afectadas por compuestos volátiles de alta afinidad al agua que pueden homogenizarse durante la extracción (Zhang et al., 2019).

5. CONCLUSIONES

Los métodos de fermentación aplicados al café Caturra rojo postcosecha modificaron significativamente su perfil sensorial, según el tipo de microbiota involucrada. El secado natural acelerado generó notas silvestres y perfiles más tenues, la fermentación anaeróbica espontánea favoreció notas cítricas y a bosque con alta puntuación en aroma, mientras que el uso de líquido ruminal aportó la mayor complejidad sensorial con sabores cítricos, florales y chocolate, destacando el sabor en boca. Estos resultados demuestran que la gestión del ecosistema microbiano permite direccionar atributos sensoriales específicos, abriendo nuevas oportunidades para innovar en cafés especiales mediante fermentaciones controladas y no convencionales.

6. AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento a la Universidad de Cuenca y a la Consultora Internacional Milk and Meat.

7. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Avallone S, Guiraud JP, Guyot B, Olguin E, Briouet JM. Fate of mucilage cell wall polysaccharides during coffee fermentation. *J Agric Food Chem.* 2001;49(11):5556–9. <https://doi.org/10.1021/jf010510s>
2. De Bruyn F, Zhang SJ, Pothakos V, Torres J, Lambot C, Moroni AV, et al. Exploring the impacts of post-harvest processing on the microbiota and metabolite profiles during green coffee bean production. *Appl Environ Microbiol.* 2017;83(1):e02398-16. <https://doi.org/10.1128/AEM.02398-16>
3. da Silva Vale A, Balla G, Rodrigues LRS, de Carvalho Neto DP, Soccol CR, de Melo Pereira GV. Understanding the effects of self-induced anaerobic fermentation on coffee beans quality: Microbiological, metabolic, and sensory studies. *Foods.* 2022;12(1):37. <https://doi.org/10.3390/foods12010037>
4. Fernandes MF, Lopes LD, Dick RP. Microbial dynamics associated with the decomposition of coconut and maize residues in a microcosm experiment with tropical soils under two nitrogen fertilization levels. *J Appl Microbiol.* 2021;131(3):1261–73. <https://doi.org/10.1111/jam.15021>
5. Ferreira DS, da Silva Oliveira ME, Ribeiro WR, Filete CA, Castanheira DT, Rocha BCP, et al. Association of altitude and solar radiation to understand coffee quality. *Agronomy.* 2022;12(8):1885. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081885>
6. Haile M, Kang WH. The role of microbes in coffee fermentation and their impact on coffee quality. *J Food Qual.* 2019;2019:4836709. <https://doi.org/10.1155/2019/4836709>
7. Haro AN, Carro MD, De Evan T, González J. Influence of feeding sunflower seed and meal protected against ruminal fermentation on ruminal fermentation, bacterial composition and in situ degradation

- bility in sheep. *Arch Anim Nutr.* 2020;74(5):380–96. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2020.1756679>
8. Haro ANH, Saldaña DR, Aucay ASJ, Rojas AV, Saavedra MAP. Análisis de la composición química y fermentación ruminal in vitro de alimentos fibrosos en ganado ovino. *RECIENA.* 2024;4(1):115–20. <https://doi.org/10.47187/ksyxnw16>
9. Joët T, Laffargue A, Descroix F, Doulbeau S, Bertrand B, Dussert S. Influence of environmental factors, wet processing and their interactions on the biochemical composition of green Arabica coffee beans. *Food Chem.* 2010;118(3):693–701. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.048>
10. Knopp S, Bytof G, Selmar D. Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. *Eur Food Res Technol.* 2006;223(2):195–201. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0172-1>
11. Martinez SJ, Batista NN, Bressani APP, Dias DR, Schwan RF. Molecular, Chemical, and Sensory Attributes Fingerprinting of Self-Induced Anaerobic Fermented Coffees from Different Altitudes and Processing Methods. *Foods.* 2022;11(24):3945. <https://doi.org/10.3390/foods11243945>
12. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. Informe del análisis de los determinantes de la productividad de café arábigo 2023 [Internet]. 2023 [cited 2025 Jul 29]. Available from: https://pidara.mag.gob.ec/wp-content/uploads/2024/12/Informe_determinantes_productividad_cafe_2023.pdf
13. Tassew AA, Yadessa GB, Bote AD, Obso TK. Location, production systems, and processing method effects on qualities of kafa biosphere reserve coffees. *Agrosyst Geosci Environ.* 2022;5(2):e20270. <https://doi.org/10.1002/agg2.20270>
14. Lu T, Sun Y, Huang Y, Chen X. Effects of roasting on the chemical compositions, color, aroma, microstructure, and the kinetics of changes in coffee pulp. *J Food Sci.* 2023;88(4):1430–44. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16516>
15. Specialty Coffee Association. The Coffee Taster's Flavor Wheel [Internet]. 2015 [cited 2025 Jul 29]. Available from: <https://sca.coffee/research/flavor-wheel>
16. Várady M, Boržíková J, Popelka P. Effect of processing method (natural, washed, honey, fermentation, maceration) on the availability of heavy metals in specialty coffee. *Heliyon.* 2024;10(3):e25563. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25563>
17. Wright DR, Bekessy SA, Lentini PE, Garrard GE, Gordon A, Rodewald AD, et al. Sustainable coffee: A review of the diverse initiatives and governance dimensions of global coffee supply chains. *Ambio.* 2024;53(7):984–1001. <https://doi.org/10.1007/s13280-024-02003-w>
18. Zhang SJ, De Bruyn F, Pothakos V, Contreras GF, Cai Z, Moccand C, et al. Influence of various processing parameters on the microbial community dynamics, metabolomic profiles, and cup quality during wet coffee processing. *Front Microbiol.* 2019;10:2621. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02621>
19. Zhao L, Wang Y, Wang D, He Z, Gong J, Tan C. Effects of different probiotics on the volatile components of fermented coffee were analyzed based on headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry. *Foods.* 2023;12(10):2015. <https://doi.org/10.3390/foods12102015>