

Influencia del uso de levaduras en la fermentación de la pulpa de café sobre su calidad aromática y sensorial

Influence of the use of yeast in the fermentation of coffee pulp on its aromatic and sensory quality

Palacios-Ruiz Viridiana¹, Suárez-Quiroz Mirna L.¹, Figueroa-Hernández Claudia Y.¹, Hernández-Estrada Zorba J.¹, González-Ríos Oscar^{1*}

¹ Tecnológico Nacional de México / IT de Veracruz, Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos.

ABSTRACT

Coffee processing generates by-products, mainly coffee pulp, which represents 45 - 50 % of the weight of the fruit. There is interest in using this by-product in food formulation since it contains bioactive compounds with potential health benefits. A *S. cerevisiae* strain was studied to ferment coffee pulp and evaluate its impact on the volatile fraction, physico-chemical composition, and sensory quality. Four treatments were studied: natural dry and submerged fermentation (FN, FNS), and fermentation with dry and submerged *S. cerevisiae* (L1, L1S). Volatile organic compounds (VOC's) were identified by HS-SPME-GC-FID; caffeine and chlorogenic acids were quantified by HPLC, and a sensory analysis was performed. Seventy-one VOC's distributed in 13 chemical families were identified; treatment L1 presented the highest concentration of VOC's with fruity and pleasant notes; FN was distinguished by its herbal notes. All treatments presented similar concentrations of polyphenols and chlorogenic acids. The infusion of treatment L1 presented sensory notes of hibiscus and tamarind that were corroborated by identifying linalool, geraniol, benzaldehyde, (z)-3-hexenal and γ -undecalactone. Using a starter culture like *S. cerevisiae* is a promising alternative to improve the sensory quality of coffee pulp beverages and increase its commercial value.

Keywords: Coffee subproducts, *S. cerevisiae*, volatile organic compounds, sensory evaluation.

RESUMEN

El procesamiento del café genera subproductos principalmente la pulpa de café que representa un 45 - 50 % del peso del fruto. Existe interés para utilizar este subproducto en la formulación de alimentos ya que contiene compuestos bioactivos con potencial beneficio en la salud. Se estudió una cepa de *S. cerevisiae* para fermentar pulpa de café y evaluar su impacto sobre la fracción volátil, la composición fisicoquímica y su calidad sensorial. Se estudiaron cuatro tratamientos: fermentación natural seca y sumergida (FN, FNS) y fermentación con *S. cerevisiae* seca y sumergida (L1, L1S). Se identificaron los compuestos orgánicos volátiles (VOC's) por HS-SPME-GC-FID; se cuantificaron la cafeína, los ácidos clorogénicos y se realizó un análisis sensorial. Se identificaron 71 VOC's distribuidos en 13 familias químicas; el tratamiento L1 presentó la mayor concentración VOC's con notas afruta-

das y agradables, la FN destacó por sus notas herbales. Todos los tratamientos presentan concentraciones similares de polifenoles y ácidos clorogénicos. La infusión del tratamiento L1 presentó notas sensoriales a jamaica y tamarindo que fueron corroboradas con la identificación de linalool, geraniol, benzaldehído, (z)-3-hexenal y la γ -undecalactona. El uso de cultivos iniciadores como *S. cerevisiae* es una alternativa prometedora para mejorar la calidad sensorial de la bebida de pulpa de café y aumentar su valor comercial.

Palabras clave: Subproductos de café, *S. cerevisiae*, compuestos orgánicos volátiles, evaluación sensorial

INTRODUCCIÓN

Los residuos de la cadena productiva del café constituyen alrededor del 90 % del peso total del fruto (Iriondo-Dehond *et al.*, 2020). La pulpa de café es uno de los residuos más abundantes dentro del proceso por lo que es importante su aprovechamiento y manejo sustentable (Murthy *et al.*, 2012). La pulpa de café está constituida por el mesocarpio (pulpa) y pericarpio (piel o cáscara), las cuales son separadas del grano por medio del proceso de despulpado. La producción de café a nivel mundial tienen un comportamiento a la alza, por lo tanto, la generación de subproductos también. De acuerdo con la Organización Internacional del Café (ICO), en el año 2020 se generaron alrededor de 28,316,030 ton de pulpa de café a nivel mundial. En México para el año 2022 la estimación de la producción de pulpa de café fresca fue de 430,514 ton (SIAP, 2022). Este subproducto ha sido utilizado con otros fines tales como composta, pienso animal y como biocombustible (Noriega *et al.*, 2008; Paz *et al.*, 2013; Peña-Lucio *et al.*, 2020). Sin embargo, su utilización para formulaciones alimentarias ha aumentado debido a sus propiedades como alimento funcional, puesto que se le atribuyen características antioxidantes y antiinflamatorias, por lo que se requiere de nuevas alternativas para su óptimo aprovechamiento (Sholichah *et al.*, 2021; Rojas-González *et al.*, 2022). La pulpa de café deshidratada de *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* Pierre, se consume desde hace más de 25 años en Yemen y Etiopía en forma de infusión, debido a lo anterior la Autoridad Europea en Inocuidad Alimentaria (EFSA) consideró que este producto no plantea problemas de inocuidad por lo que autorizó su uso como alimento tradicional para humanos (EFSA, 2021). La pulpa de café ha sido reportada contener

*Autor para correspondencia: Oscar González Ríos

Correo-e: oscar.gr@veracruz.tecnm.mx

Recibido: 25 de enero de 2025

Aceptado: 24 de febrero de 2025

Publicado: 04 de abril de 2025

compuestos bioactivos como los polifenoles, ácidos clorogénicos y cafeína con valores de 1.5 ± 0.5 ; 2.4 ± 1.0 y 1.5 ± 1.0 g/100g respectivamente (Magoni *et al.*, 2018; Esquivel *et al.*, 2020; Cruzalegui *et al.*, 2021). Se ha reportado que la pulpa de café contiene fitoprostanos y fitofuranos compuestos asociados a efectos inmunológicos benéficos y cardio protección (Ruesgas-Ramon *et al.*, 2019; Guzmán-Rosales *et al.*, 2022). Recientemente la pulpa de café ha sido utilizada para la elaboración de bebidas denominadas “cáscara”, dulces, polvo de pulpa de café para panificación, bebidas alcohólicas, tisanas, mermeladas, pures y kombucha (Amorcho Cruz y Muñoz Cortés, 2021; Buck *et al.*, 2021; Manrique y Monteblanco, 2015; Muzaifa *et al.*, 2021; Rosas-Sánchez *et al.*, 2021; Sunarharum *et al.*, 2021) por lo que su utilización en formulaciones alimentarias es cada vez mayor y requiere de nuevas alternativas para su óptimo aprovechamiento. No obstante, su utilización se ha visto condicionada debido a la limitada información de la fracción volátil y no volátil de este subproducto (Lachenmeier *et al.*, 2022).

La fermentación es un proceso de gran importancia en los alimentos, en el que intervienen diferentes microorganismos como levaduras, las cuales permiten la degradación y utilización de los diferentes metabolitos presentes en el alimento a fermentar. *S. cerevisiae* ha sido ampliamente estudiada en la fermentación de otros alimentos y ha mostrado la capacidad de generar aromas agradables en el producto final (Maicas, 2020; Bressani *et al.*, 2021). Por otro lado, por medio de procesos como la fermentación se pueden potenciar las propiedades sensoriales de diferentes alimentos tal ha sido el caso del café y el cacao (Ruta y Farcasanu, 2021). Debido a lo anterior, el presente estudio considera que la fermentación de la pulpa de café con cultivos iniciadores de levaduras como *S. cerevisiae* comerciales tendrá un efecto en el perfil de los compuestos orgánicos volátiles y en el desarrollo de notas aromáticas de la bebida preparada con la misma.

MATERIAL Y MÉTODOS

Obtención de pulpa de café

Para obtener la pulpa de café, se procesaron 500 kg de cerezas de café (*Coffea arabica* L.) de la cosecha 2021 – 2022. Las cerezas fueron lavadas para retirar frutos dañados y material extraña, posteriormente se realizó un despulpado con una despulpadora de la marca SOLOCAFE® del beneficio de café del grupo TechVer S.A. de C.V. ubicado en el municipio de Xico, Veracruz (México). Se recolectaron 120 ± 5 kg de pulpa de café la cual fue dividida en lotes de 30 kg para cada tratamiento.

Preparación del inóculo y fermentaciones de pulpa de café

La cepa de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* L1 utilizada de la marca LALCAFÉ™ fue proporcionada por la empresa Danstar Ferment A. G. Suiza. Las especificaciones del producto indican que la levadura contiene $>10^{10}$ UFC/g y > 92 % de materia seca. El inóculo se utilizó en una relación 1 g de levadura/kg de pulpa fresca. Para la reactivación de la cepa se

tomaron 30 g de levadura seca y se agregó 300 ml de agua. Se dejó reposar 20 min a temperatura ambiente. La inoculación se realizó con ayuda de un aspersor con la solución de la cepa activada previamente, la masa inoculada se homogenizó con una pala de acero inoxidable.

Se llevaron a cabo cuatro tratamientos: dos inoculados con la cepa L1 (fermentación en seco L1 y sumergida L1S) y dos fermentaciones naturales o testigos (fermentación en seco FN y sumergida FNS). Las fermentaciones se realizaron durante 12 h. Cada 4 h se midió el pH con un potenciómetro HANNA INSTRUMENTS, HI 2210 y la temperatura con un termopar y se tomaron aleatoriamente muestras de 100 g para realizar la cuenta total viable de levaduras (CVL). La cuenta total viable de levaduras se realizó por el método de diluciones y vaciado en placa utilizando Agar de papa y Dextrosa (BIOXON) acidificado con ácido tartárico al 10 %. Las muestras fueron incubadas a 30 °C durante 24 - 24h. Al final de la fermentación la pulpa proveniente de cada tratamiento fue extendida en capas de aproximadamente 5 cm de grosor en zarandas de plástico y secadas al sol. Durante el secado la pulpa fue removida cinco veces al día hasta alcanzar una humedad de 12 %. La pulpa seca proveniente de cada tratamiento se colocó en bolsas de plástico al vacío para posteriormente realizar los análisis de humedad, actividad de agua, color, compuestos orgánicos volátiles y evaluación sensorial.

Análisis fisicoquímicos

El contenido de humedad se determinó en estufa de vacío por 16 horas a 105 °C. La actividad de agua se midió en un equipo Aqualab Series 3Te (Pullman, WA) a 25 ± 1 °C. La luminosidad fue determinada por Luminocidad, utilizando un colorímetro Hunter Lab Colorflex Konica Minolta® del sistema CIELab, todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Los análisis de ácidos clorogénicos y cafeína fueron realizados por HPLC. La extracción de ACG se realizó de acuerdo al método de Ky *et al.*, (2001). La cafeína se determinó de acuerdo a la norma ISO 20481-2008. Los compuestos fueron analizados utilizando un HPLC marca SHIMADZU modelo 1100 con detector de matriz de diodos a 272 nm. Se utilizó una columna ZORBAX ODS Agilent (4,6 x 250 mm) de 5 µm acondicionada con una pre-columna ZORBAX SB C-18 (4.6 x 12.5 mm) de 4 µm. El caudal fue de 1.0 mL/min. La fase móvil fue agua/metanol (70/30 v/v). Se prepararon curvas estándar de cafeína a 5, 10, 20, 30 y 40 mg/L y los estándares de ACG (5-CQA, 4-CQA y 3-CQA) a concentraciones de 25, 50, 75, 100, 125, y 150 mg/L. Los polifenoles totales fueron cuantificados por el método de Folin-Ciocalteu (Geremu *et al.*, 2016). Todos los análisis fueron realizados por triplicado.

Análisis de Compuestos Orgánicos Volátiles VOC's

Los VOC's fueron extraídos en forma manual utilizando una fibra por la técnica de SPME-DVB/CAR/PDMS a una temperatura de equilibrio de 60 °C. Los compuestos fueron analizados utilizando un equipo GC-FID Perkin-Elmer® Clarus 500 con un detector de ionización de flama (FID) a 300° C y una columna DB-WAX. La inyección se realizó en modo splitless a



250°C con un inserto específico para la fibra SPME (Supelco Co., Bellefonte, PA, Ca) de 0.75 mm de diámetro. El caudal de gas portador (hidrógeno) es de 1.5 mL/min. Los VOC's fueron identificados usando un estándar de alcanos (C10-C40) para calcular los índices de retención (IR) de cada compuesto y compararlos con los IR de la literatura (González-Ríos *et al.*, 2007).

Análisis sensorial

La infusión de pulpa de café se realizó por dos métodos de extracción, Cold brew (método de extracción en frío) y Prensa francesa (método de extracción caliente) de acuerdo a la metodología reportada por Martínez (2021) y Córdoba *et al.* (2019). Para la evaluación de las bebidas participó un panel de 8 jueces entrenados (4 hombres y 4 mujeres). En el análisis descriptivo se evaluaron los atributos: intensidad aromática, calidad aromática, acidez, amargor, astringencia, nota afrutada, herbal, dulce y otros. Se realizó una prueba de comparación por pares 2-AFC (two alternative force choice) para determinar diferencias entre los tratamientos estudiados y compararlos con una muestra comercial de pulpa de café. El atributo evaluado fue la astringencia (Angulo *et al.*, 2007).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando Minitab® y se presentan como media \pm desviación estándar. Se utilizó ANOVA unidi-

recional, y prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5 %. Para el análisis sensorial descriptivo se utilizó la prueba de Fisher y para prueba 2AFC, el método de Chi-Cuadrada.

RESULTADOS Y DISCUSION

Seguimiento de los ensayos de fermentación

Durante la fermentación se mantuvo una temperatura entre 18° C y 20 ° C y un pH inicial de 5.0, L1 y L1S presentaron los valores de pH más bajos de 4.5. En la CTV de levaduras, los tratamientos con L1 mostraron una mayor población (> de 3 log) en comparación con los de la fermentación natural, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de fermentación sumergida o en seco (Figura 1). Aunque la temperatura óptima de fermentación para levaduras *S. cerevisiae* es de 25 a 30°C, recientes estudios han demostrado que las levaduras pueden desarrollarse en temperaturas inferiores a las óptimas (25 - 30 °C) debido a la presencia de genes responsables a la adaptación al frío que generan cambios morfológicos y fisiológicos que les permiten ser viables (Tiwari *et al.*, 2015). Adicionalmente la adaptación a temperaturas que pueden ir de los 10 a 20 °C son idóneas para la formación de atributos sensoriales deseables en la fermentación de bebidas como cerveza y vino, debido a que promueven la formación de compuestos orgánicos volátiles deseables en el alimento (Liszkowska y Berłowska, 2021; Paget *et al.*, 2014). La cepa L1 pertenece a la especie de *S. cerevisiae*, es una cepa de la marca LALCAFÉ

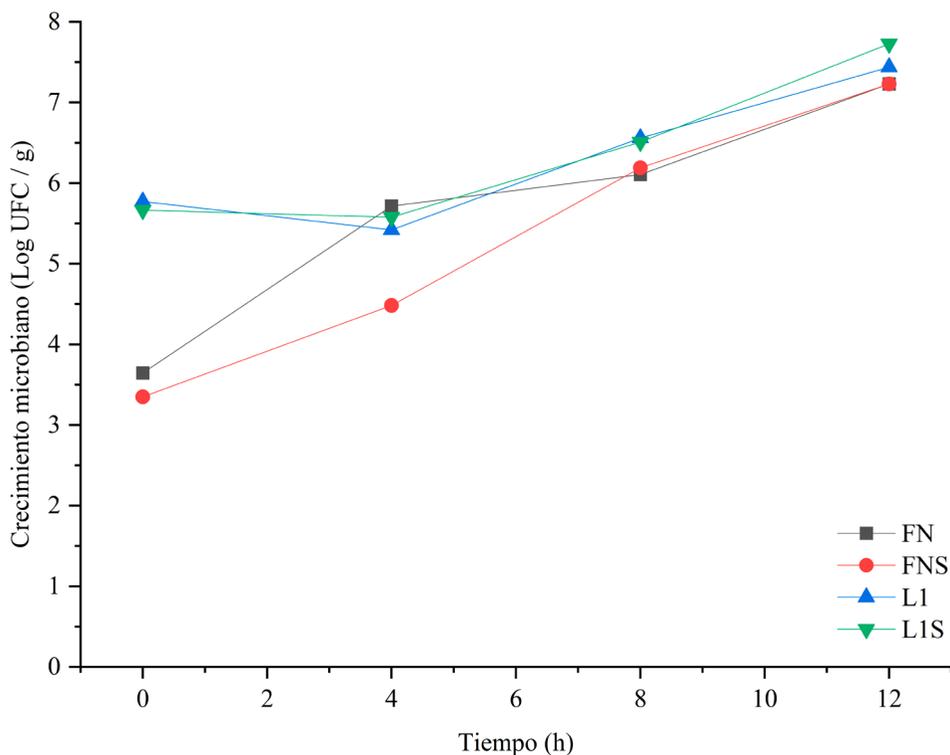


Figura 1. Crecimiento microbiano durante la fermentación de la pulpa de café. FN: natural, FNS: natural-sumergida, L1: *S. cerevisiae*, L1S: sumergida-*S. cerevisiae*.

Figure 1. Microbial growth during coffee pulp fermentation. FN: natural, FNS: natural-submerged, L1: *S. cerevisiae*, L1S: submerged-*S. cerevisiae*.

CIMA™ comercializada por la empresa LALLEMAND utilizada como cultivo iniciador en la fermentación de café, sus características indican que es esta cepa permite un mejor control de la fermentación aumentando la calidad sensorial de la taza (Contreras-Delfín, 2019). Esta misma fue utilizada para la fermentación de la pulpa de café donde se observó que la cepa requirió un periodo de adaptación en las primeras 4 h de fermentación, posteriormente su crecimiento alcanzó valores de 7.73 Log UFC/g en L1S y 7.44 Log UFC para L1. La FN y FNS alcanzaron valores finales similares a L1 y L1S lo cual indica que son especies bien adaptadas al tipo de sustrato.

Análisis fisicoquímicos

El contenido de polifenoles totales, ácidos clorogénicos y cafeína se muestran en la Tabla 1. La cafeína es uno de los compuestos que podrían ser limitantes para el consumo de la pulpa como alimento, sin embargo, se ha reportado que procesos como la fermentación pueden reducir el contenido de cafeína debido a su degradación (Londoño-Hernandez *et al.*, 2020). El contenido de cafeína de la pulpa de café proveniente de los cuatro tratamientos fue de < 1.0 g/100g de pulpa a excepción del FNS donde alcanzó valores de 1.1 g/100g. Otros estudios han reportado contenidos de cafeína en pulpa de café sin fermentar de 1.5 g/100 g (Magoni *et al.*, 2018), por lo que es posible que la fermentación de pulpa de café con la cepa L1 pudiera degradar y disminuir su contenido. El contenido de ácidos clorogénicos fue expresado como mg de 5-CQA/g de pulpa de café, debido a que el ácido 5-cafeolquinico es el isómero más abundante reportado en el café (Clarke, 2001), los resultados mostraron valores entre 14.1 y 14.4 mg de 5-CQA/g de muestra seca. No se observó diferencia significativa en cuanto al contenido de polifenoles y ácidos clorogénicos entre los tratamientos estudiados. Otros estudios han reportado que la diferencia encontrada en el contenido de compuestos bioactivos de pulpa de café se debe a las diferencias entre especies, variedades y regiones de cultivo, para el caso del presente trabajo, se utilizó la misma pulpa de café para todos los tratamientos. La pulpa de café puede ser una fuente importante de compuestos bioactivos, estudios recientes han reportado cinco clases principales de compuestos fenólicos: flavonoles, flavan-

3-oles, antocianidinas, ácidos hidroxicinámicos y ácidos clorogénicos como compuesto fenólico predominante en este producto (Heeger *et al.*, 2017; 2019). Otros estudios han reportado que la fermentación en estado sólido de pulpa de café, conducida con *S. cerevisiae* mejora la disponibilidad de compuestos fenólicos los cuales se encuentran en la pulpa del café conjugadas con azúcares en forma de glucósidos. Compuestos como los ácidos clorogénicos se encuentran en forma de éster unido a la pared celular formando estructuras de polisacáridos muy complejas (Santos da Silveira *et al.*, 2019).

Compuestos orgánicos volátiles (VOC's) en la pulpa de café

En los cuatro tratamientos estudiados se identificaron 71 compuestos orgánicos volátiles por la técnica HS-SPME-GC-FID los cuales se distribuyeron en 13 familias químicas, los compuestos más abundantes fueron los alcoholes (41); aldehídos (10) y ácidos (6), también se encontraron cetonas, ésteres, fenoles, lactonas, entre otros, aunque en menor proporción. El número de compuestos por cada tratamiento fueron para L1, L1S, FN y FNS de 45, 42, 39 y 44 VOC's respectivamente, otros estudios recientes como DePaula *et al.*, en 2022, reportaron 55 VOC's en cáscaras de café (pulpa de café seca) de diferentes regiones de Latinoamérica. Por otro lado, Buck *et al.*, en 2021, reportaron 51 VOC's en un pure de pulpa de café de la variedad Robusta (*Coffea canephora* P.). En el presente trabajo, la gran cantidad de compuestos orgánicos volátiles identificados se atribuye al proceso de fermentación con la levadura L1 utilizada. La formación de VOC's durante la fermentación con levaduras se encuentra ampliamente documentado en diferentes matrices alimentarias. Las levaduras pueden producir una gama de compuestos que, aunque no son esenciales para su metabolismo, tienen importancia a nivel industrial como los alcoholes superiores, compuestos carbonílicos, compuestos fenólicos, algunos derivados de ácidos grasos y compuestos de azufre que se pueden obtener gracias a su metabolismo secundario. Los compuestos más abundantes encontrados son los alcoholes que se forman como productos del metabolismo secundario de las levaduras. Algunas notas asociadas a estos compuestos

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de pulpa de café fermentada por diferentes tratamientos.

Table 1. Physicochemical parameters of coffee pulp fermented by different treatments.

	Humedad	A _w	Color	Polifenoles totales	Ácidos clorogénicos	Cafeína
	%		L*	mg EAG/g	mg de 5-CQA/g	g/100g
FN	12.46± 0.09 ^a	0.59± 0.01 ^a	38.84 ± 1.99 ^{ab}	13.89 ^b	14.1 ^a	0.75 ^a
FNS	10.1± 0.81 ^b	0.51 ± 0.00 ^b	39.95 ± 1.58 ^a	17.60 ^a	14.42 ^a	1.1 ^b
L1	10.42± 0.01 ^{bc}	0.51 ± 0.03 ^b	39.00 ± 0.91 ^a	14.17 ^b	14.1 ^a	0.92 ^b
L1S	9.05± 0.15 ^c	0.50 ± 0.0 ^b	33.12 ± 0.51 ^{bc}	11.09 ^c	14.4 ^a	0.88 ^b

FN: fermentación natural; FNS: fermentación natural sumergida; L1: fermentación con *S. cerevisiae* L1; L1S: fermentación con *S. cerevisiae* L1 sumergida. *medias ± desviación estándar (n = 3) con diferente letra en una misma columna indican diferencia significativa (Tukey, p < 0.05).



descritas como miel, floral, frescas, rosas, cítricas y alcohólicas son características de estos compuestos (Carrau *et al.*, 2015). Entre los alcoholes identificados en este trabajo se encuentran el alcohol isoamílico el cual ha sido reportado con una nota afrutada asociada a plátano y el pentanal, encontrado en todos los tratamientos el cual es asociado a notas con olor a frutos rojos. Los resultados mostraron que en los tratamientos L1 y FN (fermentaciones secas) se encontró alcohol furfurílico el cual ha sido reportado con notas agradables. Otro compuesto como el alcohol de bencilo asociado a notas florales y rosas fue reportado también por DePaula *et al.* (2022) y Pua *et al.* (2021), en muestras de pulpa de café de diferentes países. Otros compuestos que también se encontraron presentes en este trabajo fueron los aldehídos que contribuyen de manera importante en el sabor de bebidas fermentadas con notas como frutas cítricas, florales, herbales, afrutadas y frescas como el octanal, nonanal, 2,4-heptadienal, 2-octenal estos últimos asociados con notas a mandarina (*C. reticulata*) (González-Mas *et al.*, 2019). El nonanal también ha sido identificado en otros estudios de pulpa de café de la especie *C. canephora* por Buck *et al.* (2021), el cual es un compuesto característico reportado para la fruta de tamarindo (*Dialium*), y el linalool y benzaldehído que están fuertemente asociados como compuestos importantes en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) (Camelo-Méndez *et al.*, 2013).

Se encontraron 6 VOC's pertenecientes a los ácidos, esta familia química está asociada a notas descritas como ácido, graso, pungente, vinagre, fermentado y agrio. Algunos compuestos como el ácido acético han sido reportados en otros trabajos de pulpa de café el cuál es característico en bebidas fermentadas (Buck *et al.*, 2021; DePaula *et al.*, 2022). Los ácidos hexanoico y octanoico que también fueron reportados por estos mismos autores le dan características, acidas y frutales a la bebida final.

Otros compuestos encontrados aunque en menor proporción fueron las lactonas entre las que destacan la γ -decalactona y γ -undecalactona, las cuales son características de frutas de hueso y frutos rojos secos, como el albaricoco y el coco que le brindan características afrutadas al producto final (Ruisinger y Schieberle, 2012; Miller *et al.*, 2022), adicionalmente, la γ -undecalactona también se encuentra asociada fuertemente a la flor de Jamaica (Camelo-Méndez *et al.*, 2013). Las lactonas se pueden formar por oxidación y posterior ciclación de los ácidos oleico y linoleico, mientras que los fenoles se pueden formar por degradación térmica o microbiana de los ácidos fenólicos o la lignina (Buck *et al.*, 2021). En este trabajo, también se encontraron cetonas, que son derivados de los alcoholes por medio de reacciones de oxidación, catalizadas por enzimas con actividad deshidrogenasa, las cuales aportan notas dulces, afrutadas y florales que se pueden reconocer como olores a manzana, uva y melosos. La β -damascenona fue una de las cetonas encontradas en este trabajo, esta cetona se encuentra entre los compuestos más importantes en tés y productos derivados del té (Yang *et al.*, 2013). La β -damascenona también se ha reportado como uno de los compuestos más relevantes en

vinos tintos jóvenes, así como ha sido identificada con un olor clave en una variedad de frutas y verduras donde imparte notas agradables (Rodrigues y Almeida, 2009). La β -ionona fue otra cetona identificada en este trabajo, este compuesto también fue identificado por Buck *et al.* (2021) en el pure de pulpa de café de la variedad Robusta que ellos evaluaron, este compuesto se encuentra en varios tejidos de especies de plantas como rosas y petunias y en algunas frutas como melón, frambuesa, manzana e higo (Paparella *et al.*, 2021). Entre los ésteres encontrados en este trabajo se encuentra el etilbenceno, acetato de etilo, isovalerato de etilo y salicilato de metilo, este último ha sido reportado también en pulpa de café, con notas frescas características de menta y eucalipto. Los ésteres se forman por medio de oxidación de lípidos, por medio de la enzima lipoxigenasa (Buck *et al.*, 2021; Pua *et al.*, 2021; DePaula *et al.*, 2022).

Los furanos y pirazinas como el compuesto 5-metilfurfural identificado en este trabajo, es considerado como marcador de calidad en tratamientos térmicos, las pirazinas se forman a partir de glutamina y asparagina que se encuentran presentes en la materia prima y los furanos por medio de la oxidación de lípidos, que son considerados productos secundarios de oxidación (Pineda- Petricholi, 2010). Estos compuestos han sido reportados en algunos alimentos como frutos secos, lo que permite considerar como un punto clave el secado de esta materia prima (Pua *et al.*, 2021). También se identificaron otros compuestos como 2,3,5 trimetilpirazina, furfural, 2,6 dimetilpirazina que aportan notas tostadas, de nuez, cacao, caramelo y chocolate.

En la Figura No. 2 se presentan las áreas relativas de los compuestos en relación a sus notas aromáticas y el tratamiento estudiado. Se puede observar que la nota afrutada fue la más representativa en los tratamientos inoculados con L1 y L1S además se desarrolló un mayor número de notas sensoriales con respecto a las FN, como es el caso de notas a chocolate, fenólico y clavo.

Evaluación sensorial de infusiones preparadas con pulpa de café

En la Figura No. 3 se presentan los resultados del análisis descriptivo de las infusiones preparadas con la pulpa seca proveniente de los diferentes tratamientos. Para la preparación de las bebidas se utilizó una extracción en caliente (prensa francesa) y una extracción en frío (cold brew). Las evaluaciones fueron realizadas por ocho jueces entrenados previamente en la identificación de aromas y detección de sabores. La Figura No. 3 muestra que las bebidas preparadas en caliente con pulpa de café proveniente de los cuatro tratamientos presentan el mismo perfil sensorial, las diferencias se observan en la intensidad de cada descriptor, las bebidas de L1 y L1S se caracterizan por presentar notas más intensas a floral y afrutado, los tratamientos con FN y FNS presentan menor acidez que los tratamientos L1 y L1S. Sin embargo, los tratamientos L1 y FN tienen notas afrutadas más pronunciadas. Los jueces también describieron otras notas como cítrico, jamaica y tamarindo para los tratamientos L1

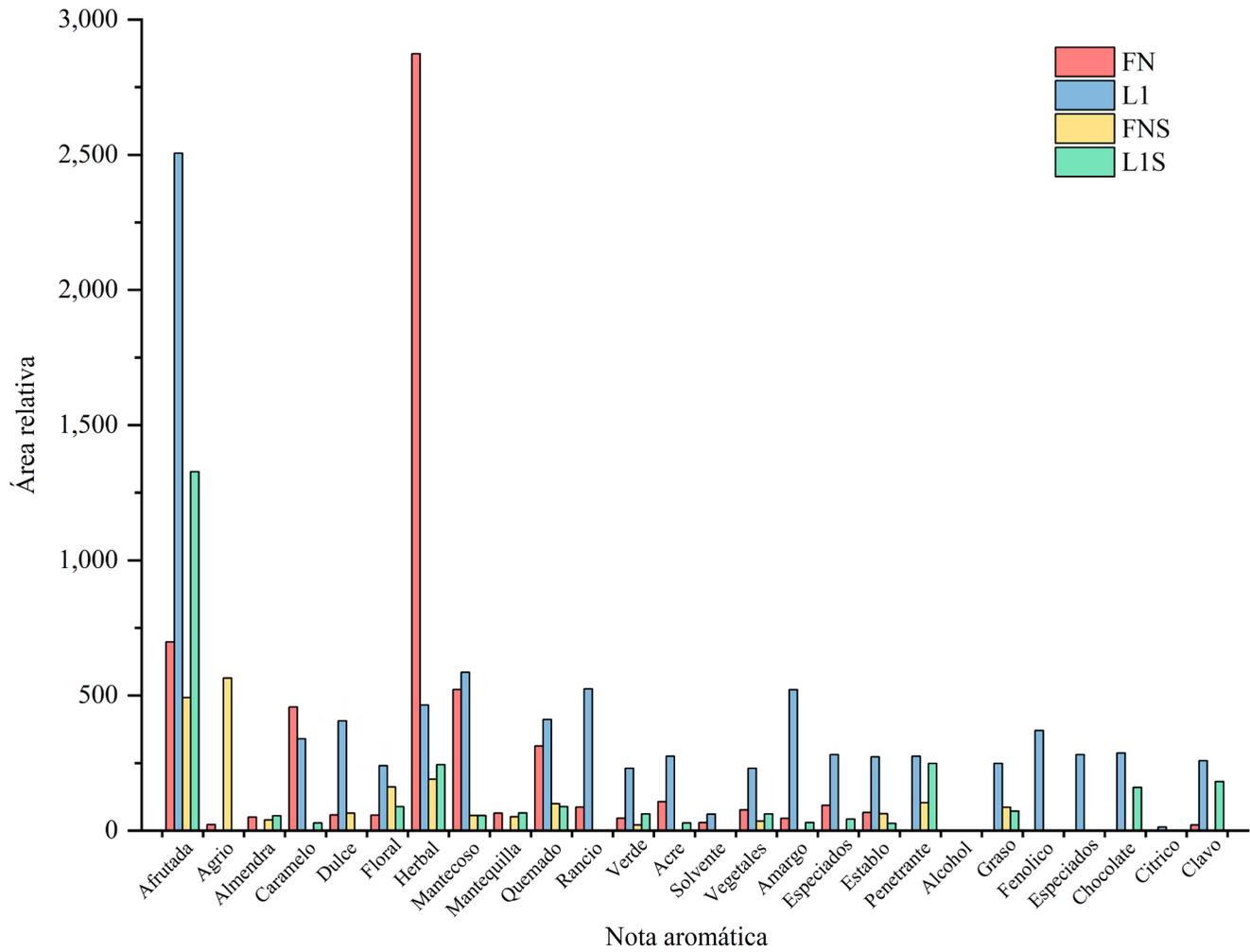


Figura 2. Notas aromáticas presentes en pulpa de café fermentada durante 12 h. FN: fermentación natural; FNS: fermentación natural sumergida; L1: fermentación con *S. cerevisiae* L1; L1S: fermentación con *S. cerevisiae* L1 sumergida.
Figure 2. Aromatic notes present in coffee pulp fermented for 12 h. FN: natural fermentation; FNS: submerged natural fermentation; L1: fermentation with *S. cerevisiae* L1; L1S: submerged fermentation with *S. cerevisiae* L1.

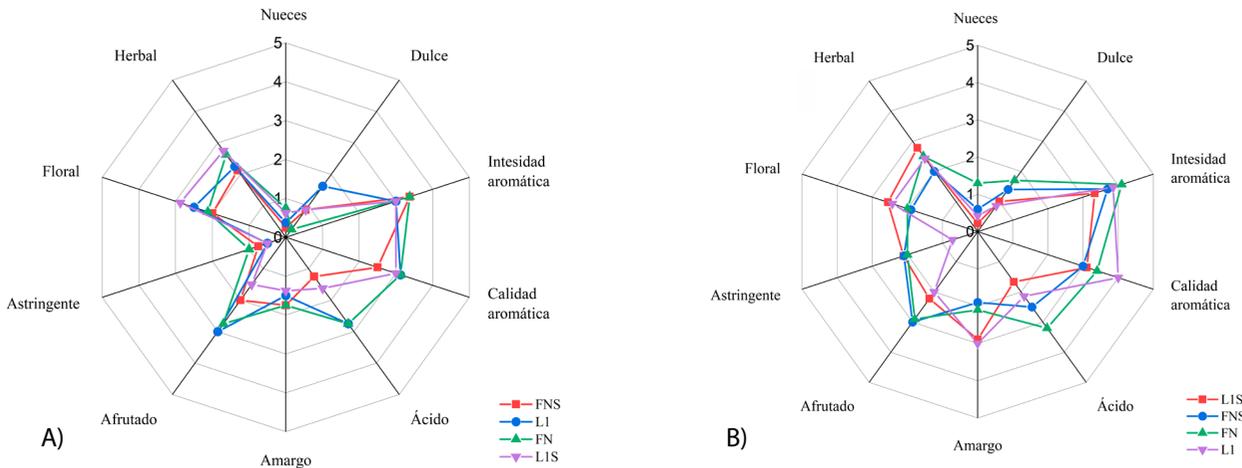


Figura 3. Análisis descriptivo de las infusiones preparadas a partir de pulpa de café fermentada: A) en caliente (prensa francesa) y B) en frío (cold brew).
Figure 3. Descriptive analysis of infusions prepared from fermented coffee pulp: A) hot (French press) and B) cold brew.

y L1S. El perfil sensorial de las infusiones preparadas en frío fueron similares a las anteriores, los jueces detectaron notas a manzanilla, herbal, florales, jamaica y tamarindo. Estos resultados están correlacionados con los compuestos volátiles encontrados donde se identificaron aldehídos como linalool, geraniol, benzaldehído, (z)-3-hexenal y la γ -undecalactona que son compuestos claves en la flor de jamaica y tamarindo (Camelo-Méndez *et al.*, 2013), lo que concuerda con lo identificado por el panel sensorial. La prueba de diferenciación 2-AFC consistió en establecer diferencia significativa entre dos infusiones de pulpa de café, en este trabajo se compararon los tratamientos fermentados tanto naturales (FN, FNS) como fermentados (L1, L1S) contra una muestra de pulpa comercial sin fermentar. La nota astringente fue definida como la sensación de resabio, descrito como sequedad en la cavidad oral así como fruncimiento y encogimiento de la piel, que es propia de la presencia de ácidos en la bebida como ácidos clorogénicos y ácidos orgánicos (Yeager *et al.*, 2021). Como resultado de este trabajo no se encontró diferencia significativa entre tratamientos en comparación con la bebida preparada a partir de pulpa comercial. La nota astringente fue percibida en todos los tratamientos y en los dos métodos de extracción.

CONCLUSIONES

La fermentación de la pulpa de café utilizando un cultivo iniciador comercial como *S. cerevisiae* L1 permitió la obtención de un producto con contenido de cafeína menor al 1 % y un contenido de ácidos clorogénicos mayor a 14 mg de 5-CQA/g. El alto contenido de compuestos fenólicos y ácidos clorogénicos que presenta la pulpa de café fermentada hacen de esta un producto idóneo para la preparación de bebidas funcionales. La evaluación de compuestos orgánicos volátiles mostró que el producto obtenido de las fermentaciones en seco contenía compuestos con notas afrutadas y agradables siendo estas más abundantes en el producto fermentado con *S. cerevisiae* L1. La evaluación sensorial mostró que las bebidas preparadas por extracción en caliente proveniente de los tratamientos con *S. cerevisiae* L1 presentaron notas aromáticas más intensas a floral y afrutado destacando notas a flor de jamaica y tamarindo, estos resultados coinciden con los compuestos orgánicos volátiles identificados como el linalool, geraniol, benzaldehído, (z)-3-hexenal y la γ -undecalactona que son compuestos claves en la flor de jamaica y tamarindo. La pulpa de café fermentada con una cepa *S. cerevisiae* L1 ya sea en seco o sumergida constituye una alternativa para mejorar las propiedades nutricionales, aromáticas y sensoriales de las bebidas preparadas en comparación con las no fermentadas que presentan notas astringentes y terrosas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México el apoyo económico para la realización del proyecto TNM 18247.23-P y al CONAHCYT por la beca de maestría otorgada.

CONFLICTO DE INTERES

Los autores declaramos no tener conflicto de interés con la presente publicación

REFERENCIAS

- Amorocho Cruz, C.M. y Muñoz Cortés, Y. 2021. Physicochemical, microbiological, and sensory characterization of fermented coffee pulp beverages. *Coffee Science*, 16: e161889. <https://doi.org/10.25186/v16i.1889>
- Angulo, O., Hye-Seong, L. y O'Mahony, M. 2007. Sensory difference tests: Overdispersion and warm-up. *Food Quality and Preference* 18: 190-195.
- Bressani, A.P.P., Martínez, S.J., Sarmiento, A.B.I., Borém, F.M. y Schwan R.F. 2021. Influence of yeast inoculation on the quality of fermented coffee (*Coffea arabica* var. Mundo Novo) processed by natural and pulped natural processes. *International Journal of Food Microbiology*. 243: 109107. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109107>
- Buck, N., Wohlt, D., Winter, A.R. y Ortner, E. 2021. Aroma-active compounds in robusta coffee pulp puree-evaluation of physicochemical and sensory properties. *Molecules*, 26: 3925. <https://doi.org/10.3390/molecules26133925>
- Camelo-Méndez, G.A., Ragazzo-Sánchez, J.A., Jiménez-Aparicio, A.R., Vanegas-Espinoza, P.E., Paredes-López, O. y Del Villar-Martínez, A.A. 2013. Comparative study of anthocyanin and volatile compounds content of four varieties of mexican roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) by multivariable analysis. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68: 229-234. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0360-2>
- Clarke, R.J. y Vitzthum, O.G. 2001. *Coffee recent developments*, Ohio, EE. UU, Wiley-Blackwell.
- Cordoba, N., Pataquiva, L., Osorio, C., Moreno, F.L.M. y Ruiz, R.Y. 2019. Effect of grinding, extraction time and type of coffee on the physicochemical and flavour characteristics of cold brew coffee. *Scientific Reports*, 9: 8440. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44886-w>
- Cruzalegui, R.J., Güivin, O., Fernández-Jeri, A.B. y Cruz, R. 2021. Caracterización de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de pulpa de café (*Coffea arabica* L.) deshidratada de tres fincas cafeteras de la región Amazonas (Perú). *Información Tecnológica*, 32(5):157-166. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642021000500157>
- DePaula, J., Cunha, S.C., Cruz, A., Sales, A.L., Revi, I., Fernandes, J., Ferreira, I.M.P.L.V.O., Miguel, M.A.L. y Farah, A. 2022. Volatile fingerprinting and sensory profiles of coffee cascara teas produced in latin american countries. *Foods*, 11:3144. <https://doi.org/10.3390/foods11193144>
- EFSA. 2021. Technical Report on the notification of dried cherry pulp from *Coffea arabica* L. and *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner as a traditional food from a third country pursuant to Article 14 of Regulation (EU) 2015/2283. EFSA Supporting Publications, 18(9). Disponible en: <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2021.EN-6808>
- Esquivel, P., Viñas, M., Steingass, C.B., Gruschwitz, M., Guevara, E., Carle, R., Schweiggert, R.M. y Jiménez, V.M. 2020. Coffee (*Coffea arabica* L.) by-products as a source of carotenoids and phenolic compounds—Evaluation of varieties with different peel color. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4:590597. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.590597>

- González-Mas, M.C., Rambla, J.L., López-Gresa, M.P., Blázquez, M.A. y Granell, A. 2019. Volatile compounds in citrus essential oils: A comprehensive review. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00012>
- Gonzalez-Rios, O., Suarez-Quiroz, M.L., Boulanger, R., Barel, M., Guyot, B., Guiraud, J.P. y Schorr-Galindo, S. 2007. Impact of "ecological" post-harvest processing on the volatile fraction of coffee beans: I. Green coffee. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20: 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.07.009>
- Guzman Rosales, D. 2022. Caracterización de los derivados lipídicos oxidados en la cadena de producción de café. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz.
- Heeger, A., Kosińska-Cagnazzo, A., Cantergiani, E. y Andlauer, W. 2017. Bioactives of coffee cherry pulp and its utilization for production of Cascara beverage. *Food Chemistry*. 221: 969-975. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.067>
- ICO, International Coffee Organization. 2022. Producción total de los países exportadores. [pdf] Disponible en: <https://www.ico.org/prices/po-production.pdf> [Consultado: 08 junio 2022]
- Iriondo-Dehond, A., Iriondo-Dehond, M. y Del Castillo, M.D. 2020. Applications of compounds from coffee processing by-products. *Biomolecules*, 10(9): 1-20. <https://doi.org/10.3390/biom10091219>
- Ky, C.-L., Louarn, J., Dussert S., Guyot B., Hamon S. y Noirot M. 2001. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *Coffea arabica* L. and *C. canephora* P. accessions. *Food Chemistry*. 75(2): 223-230. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00204-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00204-7)
- Geremu, M., Tola, Y.B. y Sualeh, A. 2016. Extraction and determination of total polyphenols and antioxidant capacity of red coffee (*Coffea arabica* L.) pulp of wet processing plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 3:25. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0077-1>
- Lachenmeier, D.W., Schwarz, S., Rieke-Zapp, J., Cantergiani, E., Rawel, H., Martín-Cabrejas, M.A., Martuscelli, M., Gottstein, V. y Angeloni, S. 2022. Coffee by-products as sustainable novel foods: Report of the 2nd international electronic conference on foods—"future foods and food technologies for a sustainable world." *Foods*: 11(1). <https://doi.org/10.3390/foods11010003>
- Liszowska, W. y Berlowska, J. 2021. Yeast fermentation at low temperatures: Adaptation to changing environmental conditions and formation of volatile compounds. *Molecules*. 26(4). <https://doi.org/10.3390/molecules26041035>
- Londoño-Hernandez, L., Ruiz, H.A., Cristina Ramírez, T., Ascacio, J.A., Rodríguez-Herrera, R. y Aguilar, C.N. 2020. Fungal detoxification of coffee pulp by solid-state fermentation. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 23:101467. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101467>
- Magoni, C., Bruni, I., Guzzetti, L., Dell'Agli, M., Sangiovanni, E., Piazza, S., Regonesi, M.E., Maldini, M., Spezzano, R., Caruso, D. y Labra, M. 2018. Valorizing coffee pulp by-products as anti-inflammatory ingredient of food supplements acting on IL-8 release. *Food Research International*. 112:129-135. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.026>
- Maicas, S. 2020. The role of yeasts in fermentation processes. *Microorganisms*. 8(8): 1-8. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081142>
- Manrique, F. y Monteblanco, A. 2015. Elaboración de caramelos blandos tipo toffe utilizando miel de café (*Coffea arabica* L.). Disertación de tesis de Maestría. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/86/1/Tesis Elaboración de caramelos blandos utilizando miel de cafe.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/86/1/Tesis%20Elaboración%20de%20caramelos%20blandos%20utilizando%20miel%20de%20cafe.pdf)
- Martinez, A. 2021. Sample coffee brew guides. Cascara tea. [Consultado el 7 septiembre 2024] Disponible en: <https://samplecoffee.com.au/brewguides/cascara-tea>
- Miller, G.C., Pilkington, L.I., Barker, D. y Deed, R.C. 2022. Saturated linear aliphatic γ - and δ -lactones in wine: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 70(49): 15325-15346. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c04527>
- Murthy, P.S. y Madhava Naidu, M. 2012. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and Recycling*. 66:45-58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>
- Muzaifa, M., Andini, R., Sulaiman, M.I., Abubakar, Y., Rahmi, F. y Nurzainura. 2021. Novel utilization of coffee processing by-products: Kombucha cascara originated from "Gayo-Arabica." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 644(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/644/1/012048>
- Noriega, S.A., Silva, A.R. y García, S.M. 2008. Utilización de la pulpa de café en la alimentación animal. *Zootecnia Trop*. 26 (4): 411-419.
- aget, C.M., Schwartz, J.M. y Delneri, D. 2014. Environmental systems biology of cold-tolerant phenotype in *Saccharomyces* species adapted to grow at different temperatures. *Molecular Ecology*. 23(21):5241-5257. <https://doi.org/10.1111/mec.12930>
- Contreras-Delfín, N. 2019. Biocontrol de café verde durante su almacenamiento mediante el uso de levaduras. Disertación de M. en Ciencias en Ingeniería Bioquímica. Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Veracruz.
- Paparella, A., Shaltiel-Harpaza, L. y Ibdah, M. 2021. β -Ionone: Its occurrence and biological function and metabolic engineering. *Plants*. 10(4):754. <https://doi.org/10.3390/plants10040754>
- Paz, J.E.W., Guyot, S., Herrera, R.R., Sánchez, G.G., Juan, C., Esquivel, C., Saucedo, G. y Aguilar, C.N. 2013. Current alternatives for sustainable management of coffee industry. *Revista Científica de La Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(10):33-40.
- Peña-Lucio, E.M., Londoño-Hernández, L., Ascacio-Valdes, J.A., Chavéz-González, M.L., Bankole, O.E. y Aguilar, C.N. 2020. Use of coffee pulp and sorghum mixtures in the production of n-demethylases by solid-state fermentation. *Bioresource Technology*. 305:123112. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123112>
- Pineda- Petricholi, S. 2010. Correlación entre los análisis instrumental y sensorial para predecir el sabor y nivel de agrado en papa frita. 1-85.
- Pua, A., Choo, W.X.D., Goh, R.M.V., Liu, S.Q., Cornuz, M., Ee, K.H., Sun, J., Lassabliere, B. y Yu, B. 2021. A systematic study of key odourants, non-volatile compounds, and antioxidant capacity of cascara (dried *Coffea arabica* pulp). *Food science and Technology*. 138:110630. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110630>
- Rodrigues, J. y Almeida, P. 2009. E-2-nonenal and β -damascenone in beer. In *Beer in Health and Disease Prevention* (pp. 395-402). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373891-2.00038-9>

- Rojas-González, A., Figueroa-Hernández, C.Y., González-Ríos, O., Suárez-Quiroz, M.L., González-Amaro, R.M., Hernández-Estrada, Z.J. y Rayas-Duarte, P. 2022. Coffee chlorogenic acids incorporation for bioactivity enhancement of foods: A review. *Molecules*. 27(11):1-23. <https://doi.org/10.3390/molecules27113400>
- Rosas-Sanchez, G.A., Hernández-Estrada, Z.J., Suárez-Quiroz, M.L., González-Ríos, O. y Rayas-Duarte, P. 2021. Cherry pulp by-product as a potential fiber source for bread production: A fundamental and empirical rheological approach. *Foods*. 10:42. <https://doi.org/10.3390/foods10040742>.
- Ruesgas-Ramón, M., Figueroa-Espinoza, M.C., Durand, E., Suárez-Quiroz, M.L., González-Ríos, O., Rocher, A. y Durand, T. 2019. Identification and quantification of phytoprostanes and phytofuranos of coffee and cocoa by-and co-products. *Food & function*. 10(10):6882-6891. <https://doi.org/10.1039/c9fo01528k>.
- Ruisinger, B. y Schieberle, P. 2012. Characterization of the key aroma compounds in rape honey by means of the molecular sensory science concept. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60(17): 4186-4194. <https://doi.org/10.1021/jf3004477>
- Ruta, L.L. y Farcasanu, I.C. 2021. Coffee and yeasts: From flavor to biotechnology. *Fermentation*. 7(1). <https://doi.org/10.3390/fermentation7010009>
- Santos da Silveira, J., Durand, N., Lacour, S., Belleville, M.P., Perez, A., Loiseau, G. y Dornier, M. 2019. Solid-state fermentation as a sustainable method for coffee pulp treatment and production of an extract rich in chlorogenic acids. *Food and Bioproducts Processing*. 115:175-184. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.04.001>
- SIAP. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de producción Agrícola. [Consultado el 5 de septiembre 2024]. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Sholichah, E., Desnilasari, D., Subekti, R.J., Karim, M.A. y Purwono, B. 2021. The influence of coffee cherry fermentation on the properties of Cascara arabica from Subang, West Java. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1011. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1011/1/012006>
- Sunarharum, W.B., Yudawati, A.N. y Asih, N.E. 2021. Effect of different brewing techniques and addition of lemon peel (*Citrus limon*) on physico-chemical characteristics and organoleptic of cascara tea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733:012086. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012086>
- Tiwari, S., Thakur, R. y Shankar, J. 2015. Role of heat-shock proteins in cellular function and in the biology of fungi. *Biotechnology Research International*. 1:11. <https://doi.org/10.1155/2015/132635>
- Yang, Z., Baldermann, S. y Watanabe, N. 2013. Formation of damascenone and its related compounds from carotenoids in tea. In *Tea in Health and Disease Prevention* (pp.375–386). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384937-3.00031-8>
- Yeager, S.E., Batali, M.E., Guinard, J.X. y Ristenpart, W.D. 2021. Acids in coffee: A review of sensory measurements and meta-analysis of chemical composition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1:27. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1957767>