



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Análisis de los compuestos volátiles sensorialmente activos en Cold Brew
de diferentes calidades por medio de HS-SPME GC-O**

Valeria Martínez García

Trabajo de investigación presentado para optar al título de Química

Asesor

Julián Andrés Zapata Ochoa, Doctor (PhD) en Química Analítica

Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Química
Medellín, Antioquia, Colombia
2025



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Cita

(Martínez García, 2025)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Valeria Martínez García, (2025). *Análisis de los compuestos volátiles sensorialmente activos en Cold Brew de diferentes calidades por medio de HS-SPME GC-O* [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Grupo de Investigación. Análisis de Residuos

Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mi familia, por su apoyo incondicional y por enseñarme que los sueños se construyen con paciencia y amor.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, hicieron posible la realización de este trabajo de grado.

Agradezco a mi tutor, Julián Zapata, por el acompañamiento y conocimiento brindado en todos estos años de aprendizaje y formación académica. Al profesor Carlos López y al laboratorio de Análisis de Residuos, por proporcionarme el conocimiento, espacio, los equipos e insumos necesarios, tanto para mi formación profesional, como para la realización de mi trabajo de investigación.

Un agradecimiento especial a mi familia, por siempre ser el apoyo más grande durante estos años de carrera, por su amor, entrega y paciencia. Sin ellos, llevar a cabo este proyecto de vida no hubiese sido posible.

Por último, agradezco a todos mis amigos y compañeros, porque sin su presencia durante estos años, este proceso no hubiese estado repleto de alegría, cariño y anécdotas para el recuerdo.

Finalmente, agradezco a todas las personas que directa o indirectamente aportaron su granito de arena en este proceso y la Universidad de Antioquia, por ser el espacio que hizo posible este sueño.

Tabla de contenido

Agradecimientos.....	3
Lista de tablas.....	6
Lista de figuras	6
Siglas, acrónimos y abreviaturas	7
1 Resumen	8
Abstract	9
2 Introducción	10
3 Planteamiento del problema	11
4 Objetivos	12
4.1 Objetivo general	12
4.2 Objetivos específicos.....	12
5 Marco teórico	13
5.1. Generalidades del café	13
5.2. Calidad del café	13
5.3. Procesamiento del café.....	14
5.4. Aroma del café	15
5.5. Métodos de extracción	16
5.6. Cold Brew	17
5.5.1. Cold brew por inmersión:.....	17
5.5.2. Cold brew por goteo:.....	17
5.7. Estudio del aroma en el café	17
5.8. Extracción de los compuestos volátiles del Cold Brew	20
5.8.1. Microextracción en fase sólida directa:	20

5.8.2.	Microextracción en fase sólida por espacio de cabeza:	20
5.9.	Análisis de los compuestos volátiles del Cold Brew.....	21
5.9.1.	Cromatografía de gases (GC):.....	21
5.9.2.	Cromatografía de gases acoplado a un olfatómetro (GC-O):.....	21
6	Metodología	22
6.1.	Revisión de la literatura.....	22
6.2.	Preparación de las muestras de Cold Brew y extracción de los compuestos volátiles por HS-SPME	22
6.3.	Entrenamiento de los panelistas	23
6.4.	Análisis de los compuestos volátiles mediante GC-O	23
7	Resultados	25
8	Discusión	40
9	Conclusiones	42
	Referencias	44

Lista de tablas

Tabla 1.	26
Tabla 2.	27
Tabla 3.	29
Tabla 4.	31
Tabla 5.	31
Tabla 6.	32
Tabla 7.	33

Lista de figuras

Figura 1.	13
Figura 2.	14
Figura 3.	17
Figura 4.	18
Figura 5.	18
Figura 6.	19
Figura 7.	21

Siglas, acrónimos y abreviaturas

GC-O	Gas Chromatography-Olfactometry
HS-SPME	Headspace Solid Phase Microextraction
PhD	Philosophiae Doctor
UdeA	Universidad de Antioquia

1 Resumen

El café, obtenido a partir de las semillas de la planta *Coffea*, no solo es la segunda bebida más consumida en el mundo, sino que también tiene un profundo impacto cultural y económico a nivel global. Su producción y comercio sustentan a millones de personas, y su consumo está arraigado en diversas tradiciones y estilos de vida. En los últimos años, el Cold Brew ha ganado popularidad como una alternativa de extracción de café en frío, pero, a diferencia de los métodos de extracción de café en caliente, se cuenta con poca investigación al respecto. Por eso, en este trabajo se busca aportar conocimiento sobre el Cold Brew, analizando cómo la calidad del café influye en sus compuestos volátiles sensorialmente activos.

Para ello, se trabaja con tres cafés de diferente calidad: alta, media y baja. La extracción de los compuestos volátiles se realiza con la técnica de preparación de muestras HS-SPME y su separación y análisis a través de cromatografía de gases acoplada a olfatometría (GC-O). Además, se entrena a un panel de catadores utilizando *Le Nez du Café* y la *Coffee Taster's Flavor Wheel*, herramientas ampliamente reconocidas a nivel mundial, que permiten una mejor identificación y una descripción organizada de los compuestos aromáticos, facilitando la comparación y comprensión del estudio en distintos contextos.

Palabras clave: cold brew, compuestos volátiles, cromatografía de gases, olfatometría, calidad del café.

Abstract

Coffee, obtained from the seeds of the *Coffea* plant, is the second most consumed beverage worldwide and holds significant cultural and economic importance. Its production and trade sustain millions of people, while its consumption is deeply embedded in diverse traditions and lifestyles. In recent years, Cold Brew has gained popularity as an alternative cold extraction method. However, compared with hot brewing methods, it has been the subject of far fewer studies. This work aims to advance knowledge on Cold Brew by examining the influence of coffee quality on its sensorially active volatile compounds. Three coffees of high, medium, and low quality were analyzed. Volatile compounds were extracted using headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) and subsequently separated and identified by Gas chromatography–Olfactometry (GC-O). A trained sensory panel, calibrated with *Le Nez du Café* and the Coffee Taster's Flavor Wheel (both internationally recognized tools) enabled accurate identification and structured description of aromatic compounds, facilitating comparison and interpretation across different contexts.

Keywords: cold brew, volatile compounds, gas chromatography, olfactometry, coffee quality.

2 Introducción

El café, obtenido de las semillas de *Coffea*, es una de las bebidas más consumidas a nivel mundial y constituye un producto de gran relevancia cultural, social y económica. Su preparación ha evolucionado con el tiempo, incorporando métodos que buscan resaltar atributos sensoriales específicos. Entre ellos, el *Cold Brew* ha ganado popularidad por su sabor suave, baja acidez y carácter refrescante.

Pese a este auge, el *Cold Brew* ha sido menos estudiado que las extracciones en caliente, especialmente en relación con sus compuestos volátiles, responsables de gran parte de su aroma. Si bien estos compuestos han sido ampliamente caracterizados en métodos calientes, aún existe un vacío sobre cómo la calidad del café influye en el perfil volátil sensorialmente activo cuando se emplea este método de extracción.

Esta carencia de estudios limita la comprensión química y sensorial del *Cold Brew*, dificultando establecer relaciones claras entre la calidad de la materia prima y el perfil aromático de la bebida. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo analizar y comparar los compuestos volátiles sensorialmente activos presentes en tres cafés de diferente calidad (alta, media y baja) preparados mediante *Cold Brew* por inmersión. Para ello, se empleó la técnica de microextracción en fase sólida por espacio de cabeza (HS-SPME) para la extracción de los compuestos volátiles, seguida de su análisis mediante cromatografía de gases acoplada a olfatometría (GC-O). Asimismo, se entrenó un panel de catadores utilizando herramientas como *Le Nez du Café* y la *Coffee Taster's Flavor Wheel*, lo que permitió una identificación precisa y una descripción organizada de los compuestos aromáticos.

Los resultados de este estudio pretenden aportar evidencia científica que contribuya al entendimiento de las características químicas y sensoriales del *Cold Brew*, fortaleciendo la base de conocimiento sobre este método de extracción y su relación con la calidad del café.

3 Planteamiento del problema

El café es una bebida que no solo tiene un gran valor económico, sino también cultural, dado que forma parte de las tradiciones de diversas sociedades. Su consumo se ha diversificado con el paso de los años, surgiendo nuevas formas de preparación como el *Cold Brew*, que es una técnica que ha ganado popularidad recientemente debido a su característico sabor suave y menos ácido, sin dejar a un lado el hecho de ser una bebida refrescante. Sin embargo, aunque existen numerosos estudios sobre las técnicas de extracción de café en caliente, el *Cold Brew* ha sido poco explorado de forma general y, más puntualmente, en términos de los compuestos volátiles que influyen en sus características sensoriales.

Los compuestos volátiles responsables del aroma en el café juegan un papel fundamental en su perfil y características, lo que a su vez impacta la experiencia sensorial del consumidor. En el caso de las extracciones en caliente, los compuestos volátiles han sido ampliamente caracterizados, y se ha establecido cómo cambian según factores como la variedad del grano, el proceso de tostado y la técnica de extracción. Sin embargo, no se dispone de investigaciones detalladas que examinen cómo la calidad del café (alta, media o baja) impacta la presencia y composición de estos compuestos volátiles en el contexto del *Cold Brew*. Mientras algunos estudios previos han identificado que la calidad del café afecta los compuestos volátiles en extracciones en caliente, esta relación aún no ha sido suficientemente estudiada ni establecida para el *Cold Brew*.

El vacío en el conocimiento químico acerca de cómo la calidad del café influye en los compuestos volátiles en el *Cold Brew* destaca la necesidad de generar información sobre este tema. Este estudio tiene como objetivo contribuir al conocimiento, analizando la influencia de la calidad del café sobre los compuestos volátiles sensorialmente activos en el *Cold Brew*, con el fin de aportar una comprensión más profunda de este método de extracción desde una perspectiva química.

Antecedentes

En el grupo de investigación de Análisis de Residuos, se han desarrollado trabajos previos que abordan el tema relacionado al Cold Brew y su caracterización química. En el año 2023, Juan Esteban Zapata Guiral desarrolló el trabajo titulado “*Identificación de los compuestos sensorialmente activos del Cold Brew por medio de SPE-P&T-GC-O-MS*”, en el cual se caracterizaron los compuestos volátiles con relevancia sensorial presentes en café preparado mediante el método Cold Brew. Esta investigación empleó técnicas de extracción en fase sólida (SPE) y purga y trampa (P&T), acopladas a cromatografía de gases-olfatometría y espectrometría de masas (GC-O-MS), permitiendo identificar y describir el impacto aromático de compuestos clave. Sus resultados constituyen un aporte importante a la comprensión de la composición aromática del Cold Brew y sirven como base para el presente estudio, que se enfoca en la influencia de la calidad del café sobre dichos compuestos.

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Comparar los compuestos volátiles sensorialmente activos del Cold Brew presentes en tres cafés de calidad alta, media y baja.

4.2 Objetivos específicos

Identificar los compuestos volátiles sensorialmente activos del Cold Brew, realizando un correcto entrenamiento de los panelistas.

Realizar la extracción de los compuestos volátiles del Cold Brew mediante la técnica de preparación de muestra HS-SPME.

Analizar los compuestos volátiles sensorialmente activos del Cold Brew mediante la cromatografía de gases acoplada a la olfatometría (GC-O).

5 Marco teórico

5.1. Generalidades del café

El café es una bebida preparada a partir de los granos de la planta perteneciente a la familia Rubiaceae, del género *Coffea*. Este arbusto, de hojas perennes y flores blancas, tiene sus orígenes en Etiopía, considerada el centro de diversidad genética de *Coffea arabica*, una de las especies más reconocidas y comercializadas a nivel mundial. De sus cerezas, mostradas en la **Figura 1**, se extraen los granos de café, dan lugar a una de las bebidas más apreciadas en todo el mundo.

El arbusto de *Coffea* puede alcanzar entre 2 y 5 metros de altura si no se realiza poda, aunque en cultivo comercial generalmente se mantiene más bajo para facilitar la recolección. Sus frutos, conocidos como cerezas de café, presentan un color que varía del verde al rojo intenso y cada uno contiene generalmente dos semillas, que son los granos de café.

Su consumo fue descubierto alrededor del siglo XVII, y desde entonces, su cultivo y comercio han tenido un impacto global, siendo esta la segunda bebida más consumida en todo el mundo.

Figura 1.

Planta de *Coffea arabica*



Nota. Fuente <https://www.thespruce.com/grow-coffee-plants-1902614>

De las diferentes especies conocidas, *Coffea arabica* y *Coffea canephora* (*Coffea robusta*) son las más estudiadas y consumidas. En términos de volumen, *C. arabica* representa más del 75 % del café comercializado en el mercado mundial. Este predominio se debe a la calidad superior de la bebida, característica de esta especie, que produce un sabor más suave y complejo en comparación con *C. robusta*. Por este motivo, el café de especialidad utiliza mayoritariamente granos de la especie *Coffea arabica*, debido a su capacidad de expresar las notas sensoriales únicas asociadas a diferentes regiones y métodos de procesamiento (Clarke & Vitzthum, 2001; Nair, 2010).

5.2. Calidad del café

El consumo global de café está determinado por su calidad, la cual se evalúa en dos niveles clave:

Calidad del grano: Indica su idoneidad para el tostado y permite diagnosticar defectos en la bebida que pueden surgir de prácticas agronómicas o de procesamiento deficientes.

Calidad en taza: Evalúa los aspectos organolépticos de la infusión para determinar su atractivo para el consumidor.

Ambos niveles son fundamentales para garantizar la sostenibilidad y la preferencia del café en el mercado.

La Asociación de Cafés Especiales (SCA) establece parámetros específicos para que un café sea considerado de alta calidad o café de especialidad, incluyendo la elección del origen, el procesamiento controlado, y el perfil de sabor y aroma (Nair, 2010):

Origen del café: Debe cultivarse en regiones específicas con condiciones geográficas y climáticas ideales.

Procesamiento: Desde la recolección de las cerezas hasta el tueste, todo el proceso debe estar cuidadosamente controlado.

Sabor y aroma: El café debe tener un perfil de sabor y aroma complejo y rico.

Uniformidad: La bebida final debe mantener consistentemente la misma calidad en cada preparación.

Por otro lado, el Coffee Quality Institute (CQI) también juega un papel fundamental en la evaluación de la calidad del café, estableciendo métodos estandarizados para medir diversos aspectos sensoriales (Coffee Quality Institute, 2024).

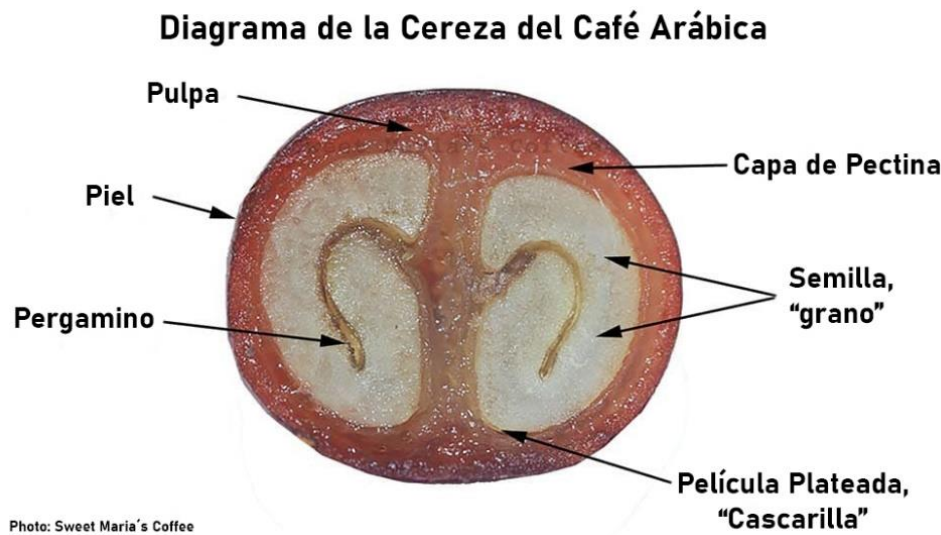
5.3. Procesamiento del café

La cereza del café, de la cual se obtiene la semilla, está compuesta por varias capas, las cuales se encuentran ilustradas en la **Figura 2**.

El proceso de retirar cada una de ellas hasta llegar al grano es largo y crucial, ya que determina en gran medida la calidad del producto que se va a obtener.

Figura 2.

Diagrama de la cereza de café arábica con sus diferentes capas.



Nota. Fuente <https://uncafeci.to/introduccion-cafe-variedades-cosecha-procesamiento/>

Piel: La capa más externa.

Pulpa: Dulce y suave, se encuentra debajo de la piel.

Semilla o grano: Está recubierta por una película plateada (cascarilla) y una capa de pectina.

Pergamino: Una membrana delgada y amarilla que rodea el grano.

Una vez recolectadas las cerezas, comienza el proceso que lleva al café como bebida final. Este incluye:

Clasificación: Las cerezas se seleccionan para garantizar la calidad.

Lavado y secado: Se limpian y secan las cerezas.

Despulpado: Se retira la cáscara y la pulpa.

Fermentación: Se eliminan las capas internas, dejando el grano verde.

Tueste: El grano verde se somete a un proceso térmico clave para desarrollar su sabor y aroma característicos.

Una vez tostado al punto deseado, el café puede comercializarse en grano o con diferentes grados de molienda: gruesa, media o fina.

Cada etapa del procesamiento afecta los compuestos químicos del grano, influyendo directamente en las características especiales de su aroma y sabor (Clarke & Vitzthum, 2001; Carroll, 2022; Flament, 2002).

5.4. Aroma del café

El sabor y el aroma del café son dos de las características sensoriales más importantes que determinan su calidad. Ambos se originan a partir de los compuestos solubles y los compuestos volátiles presentes en los granos de café. Estos compuestos se ven influenciados por factores como la especie, el método de cultivo, el procesamiento, el tueste y la preparación (Seninde & Chambers, 2020). Incluso, se menciona que factores previos a la cosecha, tales como la especie, las prácticas agrícolas, la fertilización, la poda, la temperatura y la altitud influyen en el perfil sensorial del café. Además, el cambio climático, con fenómenos como las olas de calor y las sequías, tiene un impacto directo en la producción de café arábica debido a su mayor susceptibilidad a las variaciones climáticas (Velásquez & Banchón, 2022).

Entre los componentes principales que contribuyen al sabor están los azúcares que aportan dulzura, los ácidos que dan frescura, mientras que los compuestos fenólicos pueden aportar notas amargas y astringentes. La calidad del café se refleja en la intensidad y el equilibrio de estos sabores.

Por otro lado, el aroma es una de las primeras impresiones sensoriales que se experimentan al preparar café, y está íntimamente relacionado con el sabor. El término para el conjunto de estos dos factores se conoce como “flavor”.

Los compuestos aromáticos en el café provienen de una gran variedad de sustancias volátiles, que incluyen ácidos, aldehídos, ésteres, alcoholes y compuestos fenólicos (Clarke & Vitzthum, 2001; Tylewicz et al., 2018).

Los cafés de alta calidad no solo son agradables al gusto, sino que también poseen un aroma distintivo y placentero. Estos cafés provienen de granos bien cultivados y procesados, que han sido recolectados en su punto óptimo y tostados adecuadamente.

Por el contrario, los cafés de baja calidad a menudo presentan sabor y aroma planos, defectuosos o desequilibrados.

El aroma es un parámetro de gran importancia en el café, ya que aporta una gran complejidad al perfil de taza. Esto se debe a que se ha identificado que, durante el proceso de tueste, la composición química de los granos cambia drásticamente, pasando de aproximadamente 300 compuestos volátiles en el grano verde a más de 1000 compuestos volátiles que conforman el aroma del café tostado (Clarke & Vitzthum, 2001).

Ahora bien, un café de buena calidad, en conjunto con el método de extracción utilizado, permite obtener diferentes perfiles de taza al momento de disfrutar de la bebida.

5.5. Métodos de extracción

Los métodos de extracción en caliente son los más comunes para preparar café, ya que permiten extraer de manera eficiente los compuestos solubles responsables del sabor y aroma. Estos métodos, que utilizan agua caliente, liberan rápidamente aceites, ácidos y compuestos volátiles, resultando en una bebida con un perfil de sabor más intenso. Sin embargo, también pueden extraer compuestos amargos si no se controla bien el tiempo y la temperatura, destacando la acidez, en comparación con la extracción en frío.

Por otro lado, los métodos de extracción en frío se caracterizan por utilizar agua a temperatura ambiente o fría durante un periodo prolongado, lo que permite una extracción más lenta y suave de los compuestos del café.

Este proceso resalta sabores más suaves, dulces y menos ácidos, con menor presencia de compuestos amargos. La extracción en frío genera un café más suave y menos ácido, lo que lo hace popular en bebidas frías. Un ejemplo de esta extracción en frío es el Cold Brew.

Es importante esta diferencia en los métodos de extracción porque no solo influye en el perfil sensorial de la bebida, sino también en la composición química del café resultante.

Mientras que la extracción en caliente resalta notas más brillantes debido a la liberación rápida de compuestos volátiles, la extracción en frío da lugar a una bebida más equilibrada y menos astringente, con una menor cantidad de ácidos percibidos y una textura más suave (Córdoba et al., 2021).

De acuerdo con la **Figura 3**, entre los diferentes métodos de preparación del café, se encuentran los métodos de inmersión (Cold Brew o Prensa francesa), métodos de percolación (Chemex o Pourover) y los métodos de presión (Moka, Aeropress o Espresso).

Figura 3.

Ilustración de algunos diferentes métodos de extracción del café.



Nota. Fuente <https://impactroasters.dk/pages/brewing-guide>

Cada método dará a la taza de café características especiales de sabor y aroma, dado que los compuestos químicos responsables de estos varían dependiendo del tipo de preparación (Yu et al., 2021).

5.6. Cold Brew

El cold brew es un método de preparación de café que se caracteriza por la extracción de los compuestos del grano utilizando agua fría o a temperatura ambiente durante un largo periodo de tiempo, generalmente entre 12 y 24 horas. A diferencia de los métodos tradicionales de preparación en caliente, que extraen rápidamente los compuestos del café, el Cold Brew produce una bebida menos ácida y con un perfil de sabor más suave y dulce (Batali et al., 2022).

Existen dos principales métodos de extracción utilizados en la preparación de Cold Brew:

- 5.5.1. Cold brew por inmersión:** En este método, los granos de café molido grueso se sumergen completamente en agua fría y se dejan reposar entre 12 y 24 horas. Durante este tiempo, el agua extrae lentamente los compuestos del café, dando lugar a una bebida concentrada que se filtra para eliminar los granos. Este proceso de extracción es más sencillo y ampliamente utilizado.
- 5.5.2. Cold brew por goteo:** En el método de goteo, el agua fría se gotea lentamente sobre los granos de café molido, lo que permite una extracción gradual de los compuestos aromáticos y de sabor. Este proceso también dura entre 12 y 24 horas. Los sistemas de goteo para Cold Brew son más complejos y suelen utilizar filtros específicos para garantizar la correcta extracción.

Ambos métodos de extracción, aunque diferentes, tienen en común la obtención de una bebida que presenta un perfil organoléptico único: menor acidez, mayor suavidad y una mayor concentración de sabores dulces y florales (McCain-Keefer et al., 2020).

5.7. Estudio del aroma en el café

El análisis sensorial del aroma del café requiere de panelistas capacitados que puedan identificar, distinguir y consensuar la descripción de los distintos aromas presentes en la bebida. Este proceso de entrenamiento incluye herramientas como la Nariz del Café (*Le Nez Du Café*), que consiste en

un conjunto de aromas de referencia que ayuda a los panelistas a familiarizarse con los compuestos volátiles característicos del café (Editions Jean Lenoir, s.f.).

En la **Figura 5** se observan los 36 aromas más representativos del café en todo el mundo y se clasifican como: terrosos, leguminosos, vegetales secos, amaderados, especiados, animales, tostados y químicos.

La nariz del café es una herramienta fundamental para el entrenamiento sensorial de los panelistas, ya que les permite fortalecer su memoria olfativa al asociar cada aroma con un descriptor específico. Como se muestra en la **Figura 4**, esta herramienta incluye un libro con descripciones detalladas de cada aroma, facilitando la identificación y asociación de los olores, lo que contribuye a una percepción más precisa y consistente.

Figura 4.

Kit Le Nez du Café. Caja y libro.



Nota. Fuente <https://www.aromadecafe.es/noticias/le-nez-du-cafe-el-mundo-del-cafe-a-golpe-de-olfato-2>

Figura 5.

Los 36 aromas característicos de la nariz del Café.



Nota. Fuente <https://www.beanscenemag.com.au/le-nez-du-cafe/>

Además, se emplea la rueda de aromas para catadores de café (*Coffee Taster's Flavor Wheel*), que consiste en una guía visual que clasifica los aromas en familias y subfamilias, facilitando el proceso de reconocimiento y descripción de los perfiles aromáticos. Esta metodología no solo mejora la precisión del análisis, sino que también facilita el uso de un lenguaje común entre los catadores, esencial para evaluar de manera objetiva la calidad del café, dado que se sigue una serie de parámetros que han sido establecidos por diferentes científicos durante su desarrollo (Specialty Coffee Association, 2021).

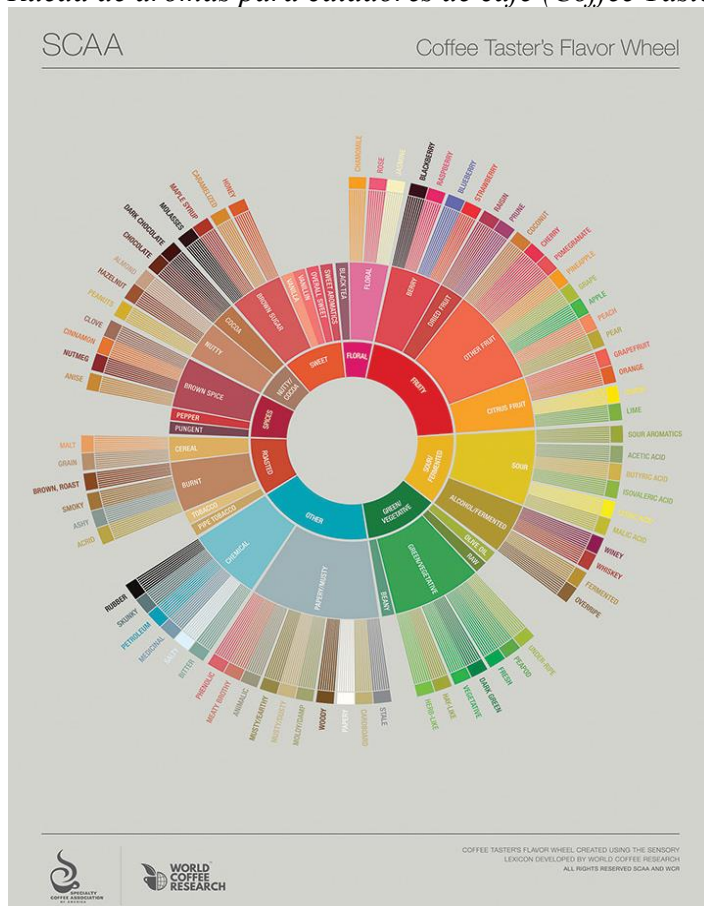
La rueda de aromas para catadores de café surge cuando la Asociación de Cafés Especiales (SCA) en un trabajo conjunto con World Coffee Research, crean esta herramienta, buscando que, al momento de realizar un estudio del café, se cuente con un método estándar a nivel mundial (Specialty Coffee Association, 2024).

De esta manera, se contribuye al entrenamiento de panelistas, utilizando diferentes técnicas para el mejoramiento de las habilidades de reconocimiento, identificación y descripción de aromas en el café.

En la **Figura 6** se observan las deferentes familias de aromas que son utilizadas de forma general, para lograr una descripción más precisa de los olores percibidos en el café.

Figura 6.

Rueda de aromas para catadores de café (Coffee Taster's Flavor Wheel).



Nota. Fuente <https://crema.co/guides/coffee-flavor-profiles>

5.8. Extracción de los compuestos volátiles del Cold Brew

Actualmente existen diferentes técnicas bien establecidas para el estudio de los cafés preparados en caliente, pero este no es el caso del Cold Brew.

Al ser un método relativamente nuevo, es poca la investigación realizada al respecto y, por ende, para procesos como la extracción de los compuestos volátiles, se recurre a la utilización de métodos en desarrollo o propuestos recientemente.

Por fortuna, se cuenta con técnicas de laboratorio poderosas como lo es la Microextracción en fase sólida (SPME, por sus siglas en inglés), para realizar la extracción de los volátiles.

La SPME es un método de preparación de muestras que no requiere el uso de solventes orgánicos, dado que combina la extracción y concentración de compuestos volátiles de interés. Funciona a través de procesos de adsorción o absorción y posterior desorción, utilizando una fibra recubierta de diferentes materiales que sirven para separar compuestos volátiles y semivolátiles presentes en una muestra, estableciendo un equilibrio entre los compuestos de interés presentes en la matriz y la fase de extracción adherida a la superficie del dispositivo.

Esta técnica puede integrarse con diversos métodos analíticos, como la cromatografía de gases (GC) y la cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC-MS), lo que permite realizar análisis cualitativos y cuantitativos de manera eficiente, especialmente cuando se utilizan fibras que tienen recubrimientos compatibles con la matriz de la muestra.

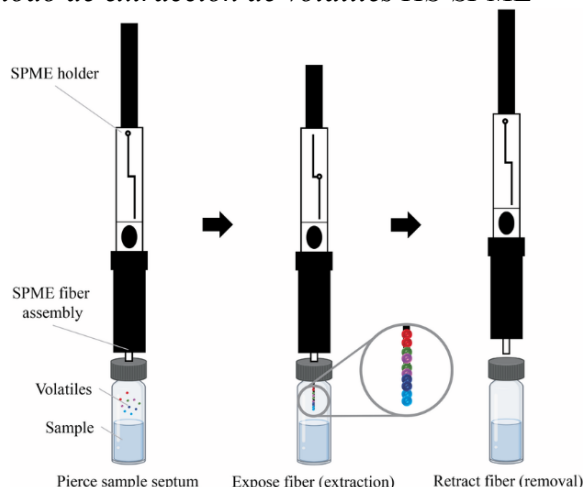
Al igual que los biosensores, estos recubrimientos usan una especie de barrera protectora que les permite trabajar con muestras complejas sin interferencias (Rodríguez-Delgado et al., 2024).

La microextracción en fase sólida se puede implementar de dos maneras:

- 5.8.1. *Microextracción en fase sólida directa: (Immersion SPME*, por sus siglas en inglés), consiste en que la fibra es completamente sumergida en la muestra líquida, para la extracción directa de los analitos.
- 5.8.2. *Microextracción en fase sólida por espacio de cabeza: (HS-SPME*, por sus siglas en inglés), la cual consiste en que la fibra es expuesta al espacio de cabeza del vial, es decir, al espacio entre la muestra y la tapa del vial a donde migrarán los compuestos volátiles presentes, como se observa en la **Figura 7**.

Para el estudio de compuestos volátiles presentes en el Cold Brew, se utiliza la técnica HS-SPME, dado que el interés consiste en conocer los diferentes analitos que componen el aroma de la bebida.

Tal como se muestra en la **Figura 7**, únicamente los compuestos volátiles de la muestra interactúan con la fibra, lo que asegura que solo se analizarán las moléculas químicas responsables del perfil aromático.

Figura 7.*Método de extracción de volátiles HS-SPME³*

Nota. Fuente <https://doi.org/10.1002/mas.21780>

5.9. Análisis de los compuestos volátiles del Cold Brew

Desde el siglo XX la cromatografía de gases (GC, por sus siglas en inglés) ha sido empleada como una eficiente técnica de separación de compuestos, ya sean polares, no polares, medianamente polares, entre otros. Así mismo, al utilizar en conjunto la cromatografía de gases con técnicas como la espectrometría de masas (MS) y la resonancia magnética nuclear (NMR), es incluso posible caracterizar los compuestos volátiles presentes en los alimentos (Flament, 2002).

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente trabajo se emplea la cromatografía de gases como medio de separación de los compuestos volátiles presentes en el Cold Brew y se utiliza además la cromatografía de gases acoplada a la olfatometría para el análisis del aroma en el café.

5.9.1. Cromatografía de gases (GC): Esta técnica es la que permite separar los diferentes analitos que están presentes en la muestra, una vez que estos ingresan a la columna por el puerto de inyección y salen por el detector. Por lo general se utilizan columnas de 30 metros de longitud y no se presentan interferencias del pico correspondiente al solvente, dado que se implementa la técnica de HS-SPME.

5.9.2. Cromatografía de gases acoplado a un olfatómetro (GC-O): En este caso se cuenta con el cromatógrafo de gases, pero en el detector se realizan determinados cambios para cumplir la función como puerto de olfacción. Aquí los panelistas cumplen una importante tarea, dado que son quienes perciben los aromas de los analitos que van saliendo de la columna, y reportan la información requerida.

Una vez realizados los análisis, se recoge la información de los cromatogramas y olfatometrías y, mediante estudios de correlación, se analizan los diferentes compuestos volátiles presentes en las muestras.

6 Metodología

6.1. Revisión de la literatura

Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de estudios relacionados con los compuestos volátiles del café y su influencia en la calidad sensorial, con énfasis en la preparación mediante extracción en frío (*Cold Brew*). La búsqueda reveló que la mayoría de las investigaciones se centran en métodos de extracción en caliente, mientras que la información sobre el perfil sensorial y la caracterización química del *Cold Brew* es limitada, lo que evidencia la necesidad de aportar conocimiento desde un enfoque químico.

Las fuentes consultadas incluyeron bases de datos académicas como Scopus, ScienceDirect, SpringerLink y Google Scholar, así como repositorios universitarios y sitios especializados en alimentos. Los criterios de selección priorizaron publicaciones científicas, libros y tesis de grado, que abordaran la caracterización de compuestos volátiles sensorialmente activos en el café.

La información recopilada se clasificó en dos categorías: cafés preparados en frío (*Cold Brew*) y cafés preparados en caliente. Posteriormente, se identificaron vacíos relevantes en el conocimiento químico, que sirvieron como base para la formulación del presente estudio.

6.2. Preparación de las muestras de Cold Brew y extracción de los compuestos volátiles por HS-SPME

La preparación del café es una etapa clave, ya que durante este proceso se extraen los compuestos químicos que definen el perfil sensorial de la bebida. En este estudio, se empleó el método de inmersión para la preparación del *Cold Brew*, elegido por su practicidad, simplicidad en el montaje y reproducibilidad en condiciones de laboratorio.

Para la extracción de los compuestos volátiles presentes en las muestras, se utilizó la técnica de Microextracción en Fase Sólida en Espacio de Cabeza (*Headspace Solid Phase Microextraction*, HS-SPME), que permite aislar y concentrar los compuestos aromáticos del *Cold Brew*.

Cada preparación se realizó pesando 20,0 g de café molido en una balanza analítica, los cuales se mezclaron con 250,0 mL de agua en un recipiente de inmersión. Las mezclas se refrigeraron durante 15 horas a 5 °C y posteriormente se filtraron utilizando un filtro para cafetera #2.

Para la extracción, se tomaron 5,0 mL de la bebida filtrada y se transfirieron a un vial para *Headspace* de 20,0 mL, el cual fue sellado y colocado en baño maría a 37 °C durante 10 minutos, permitiendo el equilibrio entre la fase líquida y el espacio de cabeza. Seguidamente, se introdujo una fibra triple para SPME (PDMS/DVB/CAR) durante 50 minutos para la adsorción de los compuestos volátiles.

Las tres muestras de café de diferente calidad fueron preparadas bajo la misma metodología y en condiciones controladas, lo que permitió su posterior análisis y comparación. Se mantuvo el

mismo tipo de cristalería, material volumétrico, condiciones ambientales y parámetros de extracción en todas las preparaciones, así como la misma fibra SPME para asegurar la reproducibilidad de los resultados.

6.3. Entrenamiento de los panelistas

El entrenamiento de los panelistas se realizó con el objetivo de obtener descripciones confiables, claras y ordenadas de las características aromáticas durante las olfatometrías. Este proceso tuvo una duración de seis meses, con sesiones semanales en las que se emplearon dos herramientas principales: *La Nariz del Café* (Le Nez du Café) y la *Rueda de Aromas para Catadores de Café* (Coffee Taster's Flavor Wheel).

Cada semana se definió la herramienta sensorial que iba a ser utilizada. En el caso de *La Nariz del Café*, se seleccionaron varias esencias por sesión, las cuales se rotaron semanalmente hasta cubrir las 36 disponibles. Cuando se trabajó con familias de aromas, se eligió un grupo representativo (cítricos, frutos rojos, frutos tropicales, herbales, amaderados, dulces, terrosos y los incluidos en *La Nariz del Café*), y las muestras se presentaron en recipientes opacos, tapados y codificados con tres números.

Los panelistas registraron individualmente el código y el descriptor aromático percibido. Al finalizar cada sesión, se compartieron los resultados y se realizó retroalimentación basada en los descriptores reales de cada muestra. Posteriormente, cuando ya se conocía el contenido de cada muestra, se volvieron a oler para reforzar la asociación aroma/descriptor.

Previo a las olfatometrías definitivas, los panelistas participaron en dos semanas de sesiones de ensayo para evaluar el funcionamiento del equipo y su desempeño. Solo se documentaron los paneles en los que asistieron todos los participantes de manera simultánea. De forma adicional, se ofreció la posibilidad de asistir a más de una sesión semanal para reforzar las habilidades olfativas y descriptivas.

6.4. Análisis de los compuestos volátiles mediante GC-O

El análisis de las muestras se realizó mediante cromatografía de gases acoplada a olfatometría (GC-O), técnica que permite separar los compuestos volátiles presentes en el café y correlacionarlos con la percepción sensorial de los panelistas. El procedimiento incluyó el cálculo del porcentaje de frecuencia modificada (%FM) y de los índices de retención de Kovats (KI) para identificar los compuestos con mayor relevancia sensorial y para identificación tentativa de compuestos con actividad sensorial.

Una vez realizada la extracción en la fibra SPME, esta fue llevada al cromatógrafo de gases, con el inyector en modo Splitless, con pulso de 2.5 psi durante 3 minutos y una temperatura de 220°C a presión de 0.7 psi y flujo total de 83.7 mL/min. Se empleó el programa del horno número

2 (50°C durante 3.1 minutos; sube temperatura a una rata de 3°C/min hasta 150°C; posteriormente sube a una rata de 7°C/min durante 2 minutos).

El tiempo de análisis para cada muestra fue de 50 minutos, durante los cuales cada panelista reportó los datos de tiempos de detección del aroma, su correspondiente descriptor y la intensidad del olor (en una escala de 0 a 5, siendo 0 un olor muy sutil y 5 un olor muy intenso).

Los equipos y materiales utilizados:

Cromatógrafo de gases Agilent 6890N

Detector de ionización de llama (FID)

Inyector Split/Splitless

Columna DB-WAX (Crossbonded® Carbowax® de 30 m de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y 0.5 micras de espesor de película)

El cálculo de porcentaje de frecuencia modificada (%FM) se realizó mediante la *Ecuación 1*. Posteriormente, se calcularon los índices de retención de Kovats (KI) utilizando la *Ecuación 2*. Para este cálculo, se emplearon como referencia los tiempos de retención de una serie homóloga de n-alcenos lineales, cuyos valores se presentan en la Tabla 4. Esta serie abarca compuestos desde heptano (C7) hasta triacontano (C30), lo cual permite cubrir un amplio rango de elución y facilita la identificación de los compuestos volátiles con posible importancia sensorial.

$$\%FM = \sqrt{\%F * \%I} \quad \text{Ecuación 1, donde}$$

$\%F$ = Porcentaje de frecuencia

$\%I$ = Porcentaje de intensidad

$$KI = \left(\frac{t_r - t_n}{t_{n+1} - t_n} + n \right) * 100 \quad \text{Ecuación 2, donde}$$

t_r = Tiempo de retención del compuesto

t_n = Tiempo de retención del n-alceno anterior

t_{n+1} = Tiempo de retención del n-alceno siguiente

n = Número de carbonos del compuesto que eluye antes del analito

7 Resultados

La información que se recolectó sobre el café preparado en caliente fue amplia y detallada, notando que se han realizado estudios sobre los diversos factores que pueden impactar su perfil sensorial. Es de resaltar que, en este caso, sí se cuenta con información química existente para el caso de los compuestos volátiles presentes en la bebida.

Por otro lado, para el Cold Brew se observó que la información química es escasa, desde aspectos como su preparación, hasta la caracterización química de los compuestos volátiles presentes.

Todas las muestras pudieron prepararse de forma adecuada, presentando una consistencia uniforme tras la filtración. No se observaron contaminaciones o impedimentos que pudieran perjudicar el procedimiento, por lo que se emplearon sin problema.

A continuación, se presentan muestras y aromas utilizados durante los paneles de entrenamiento. Dado que todas las muestras y aromas se utilizaron repetidas veces, solo se reportan las fechas y paneles en los que asistieron las cinco personas el mismo día y a la misma hora.

Fecha: 20/03/2024 (panel realizado con familias de aromas)

Aromas: Cáscara mandarina criolla, cáscara mandarina comercial, jugo mandarina criolla, jugo mandarina comercial, cáscara naranja comercial, jugo naranja comercial, cáscara naranja criolla, jugo naranja criolla, cáscara limón comercial, jugo de limón comercial, fragancia artificial limón, aceite de naranja, sabor artificial chocolate, sabor artificial fresa, sabor artificial guanábana.

Fecha: 27/03/2024 (panel realizado con La Nariz del café)

Aromas: Clavo de olor, pimienta, semillas cilantro, maní tostado, avellanas tostadas, nueces, carne de res cocida, humo, barniz.

Fecha: 05/04/2024 (panel realizado con familias de aromas)

Aromas: Chocolate blanco, caramelo, chocolatina jet, balones chocolate, caramelo de café, cocoa en polvo, sabor artificial a chocolate, chocolate 70% cacao, chocolatina cookies and creme.

Fecha: 17/04/2024 (panel realizado con La Nariz del café)

Aromas: Tierra, patata, paja, limón, clavo de olor, pimienta, nueces, humo, barniz, tabaco de pipa, café tostado, medicinal, caucho, guisantes de jardín, pepino, cedro, semillas de cilantro, maní tostado, carne de res cocida.

Fecha: 24/04/2024 (panel realizado con La Nariz del café)

Aromas: Miel de maple, malta, tostado, caramelo, miel, cuero, almendras tostadas, arroz basmati, chocolate.

Fecha: 08/05/2024 (panel realizado con familias de aromas)

Aromas: Sabor guanábana 1, pulpa guanábana, olor a piña colada, sabor guanábana 2, granos de café, tamarindo comercial (con azúcar), tamarindo (pulpa natural), papaya, pulpa mango, mango, piña, jugo artificial de piña, aromática piña.

Fecha: 15/05/2024 (panel realizado con familias de aromas)

Aromas: Mora, postre de mora, yogurt de mora, cerezas en almíbar, fresa, bombón fresa, yogurt fresa, olor a piña colada, olor a chocolate, arándanos, pulpa de mora.

Fecha: 24/05/2024 (panel realizado con La Nariz del café)

Aromas: Arveja, cereza cafeto, vainilla, albaricoque, tabaco, caucho, mantequilla, limón, nota melosa, cuero, pan tostado, malta, pimienta, té rosa, caucho.

Al terminar los ensayos de las olfatometrías, los panelistas se encontraron en condiciones aptas para realizar los análisis oficiales, en los que fue recopilada la información del presente trabajo.

Para las tres calidades de café se presenta su respectiva tabla de resultados y cromatogramas, los cuales se obtuvieron después del análisis por GC-O.

Las tablas permiten evidenciar las diferencias cualitativas y cuantitativas entre las calidades de café, brindando así una base comparativa para la caracterización del Cold Brew.

Tabla 1.

RT: Tiempos de retención; Descriptor: Descriptor aromático; F: Frecuencia; I: Promedio de intensidad; %FM: Porcentaje de frecuencia modificada; KI: Índices de retención de Kovats de los compuestos con posible actividad sensorial, de la muestra de Cold Brew Josefa (calidad alta), a partir de los datos reportados por los panelistas.

RT	Descriptor	F	I	%FM	KI
1,25	Cáscara/Fermento, Humedad, Trapo Mojado, Floral, Desagradable/Verde, Humedad	5	1,3	51,64	697,03
1,50	Naranja	1	2	28,28	722,28
2,00	Tostado, Tinta de lapicero	2	2	40,00	771,78
2,32	Dulce/Macadamia, Vainilla	3	1,8	46,90	803,47
3,30	Caramelo, Fresco/Suave, Valeriana, Fresas, Bonbombun	5	2	63,25	974,12
4,40	Maní tostado	1	2	28,28	1057,40
7,12	Dulce, Floral	2	0,5	20,00	1245,75
8,10	Tierra mojada, Dulce/Floral	2	2,5	44,72	1277,78
9,10	Verde, Naranja/Albul	2	1,5	34,64	1309,08
9,50	Cítrico, Fresco	2	2	40,00	1320,44
10,11	Flores, Chocolate, Guardado/Nevera sucia, Verde	4	2	56,57	1337,75
11,37	Cáscara uva, Maíz crudo	2	2,5	44,72	1373,52
12,38	Tostado	1	1,5	24,49	1402,13
13,25	Lavanda /Floral	1	4	40,00	1426,15
13,50	Químico solvente	1	2,5	31,62	1433,05

14,07	Valeriana/Mata, Limpio, Pegante/Caucho, Verde/Floral	4	2,4	61,64	1448,79
14,30	Flores aplastadas, Tierra mojada, Pasto/Verde, Arverjas	4	1,9	54,77	1455,14
14,57	Caramelo, Tostado/Terroso, Húmeda, Trapo húmedo, Tostado	4	1,3	45,61	1462,59
16,50	Tostado pirazina, Tostado	2	1,2	31,62	1515,79
16,22	Guardado, Hojas secas	2	0,5	20,00	1508,10
17,00	Verde, Mata	2	1	28,28	1529,52
17,25	Caramelo	1	2	28,28	1536,38
17,40	Verde menta	1	1	20,00	1540,50
17,55	Tierra Mojada	1	2	28,28	1544,62
18,15	Floral, Verde/Fresco/Menta, Pasto/Verde, Cítrico, Tierra mojada	5	2,6	72,11	1561,09
18,45	Dulce, Tostado	2	2	40,00	1569,33
19,15	Cítrico, Perfume	2	1,5	34,64	1588,55
20,07	Fruta cítrica, Paja limón	2	1,2	31,62	1614,53
20,47	Rosa	1	3	34,64	1626,09
21,41	Café, Albaricque tostado, Hierbas	3	1,5	42,43	1653,25
23,04	Maíz, Tostado	2	0,7	24,49	1700,36
23,46	Dulce	1	2,5	31,62	1712,86
24,49	Maluco / Zapato, Maluco / Fo / Dulce feo	2	2,5	44,72	1743,51
25,02	Cáscara banano	1	1	20,00	1759,29
25,20	Algarrobo	1	2	28,28	1764,64
26,44	Café	1	2	28,28	1800,82
27,10	Verde	1	1	20,00	1811,25
27,42	Fresco, Canela	2	1,5	34,64	1816,31
28,10	Tostado	1	1	20,00	1827,05
29,00	Mantequilla/Tostado, Maní	2	1,2	31,62	1841,28
30,12	Fresa, Dulce/Frutas, Dulce, Dulce/Fresco, Frutas	5	1,1	46,90	1858,98
32,40	Alcohol	1	3	34,64	1895,01
33,44	Frutas	1	1	20,00	1924,29
34,12	Café tostado, Dulce	2	1,5	34,64	1947,10
37,10	Caramelo, Caramelo	2	0,7	24,49	2054,44
39,20	Jabonoso, Rico/Suave	2	0,5	20,98	2148,13
41,40	Acre	1	3	34,64	2366,70
42,10	Tostado	1	2	28,28	2423,63
42,30	Dulce/Frutas	1	1	20,00	2432,02
44,25	Verde, Miel	1	1,2	31,62	2588,52
45,19	Pimienta	1	1	20,00	2669,43
46,77	Caramelo fundido, Dulce/Caramelo	2	3	48,99	2814,22
48,59	Quemado, Arepa quemada, Quemado	3	1,7	44,72	2995,23

Tabla 2.

RT: Tiempos de retención; Descriptor: Descriptor aromático; F: Frecuencia; I: Promedio de intensidad; %FM: Porcentaje de frecuencia modificada; KI: Índices de retención de Kovats de los

compuestos con posible actividad sensorial, de la muestra de Cold Brew Matiz (calidad media), a partir de los datos reportados por los panelistas.

RT	Descriptor	F	I	%FM	KI
1,19	Malo, Limpio, Desagradable, Mal olor, Pedo	4	1,9	55,14	691,58
1,54	Verde, Límpido quemado	2	1,5	34,64	726,24
2,00	Maracuyá/Cítrico, Guayaba	2	1	28,28	771,78
2,30	Dulce/Caramelo	1	2,5	31,62	805,43
2,52	Cartón	1	2	28,28	885,14
4,49	Piña quemada	1	4	40,00	1063,53
6,33	Chocolate, Mostaza, Mantequilla	3	0,7	28,27	1219,93
8,04	Floral, Floral	1	2	28,28	1275,82
8,35	Dulce	1	3	34,64	1285,95
9,00	Tierra	1	2	28,28	1306,24
9,12	Sin descriptor, Tostado	2	1,7	37,42	1309,65
9,50	Fresco	1	1	20,00	1320,44
10,14	Tierra, Tierra, Trapo húmedo, Chantilly	4	1,5	48,99	1338,60
11,00	Fruta	1	1	20,00	1363,01
12,12	Dulce, Frutal	2	1,1	29,66	1394,81
12,50	Cítrico	1	1	20,00	1405,44
13,26	Dulce, Cítrico/Limón	2	1	28,28	1426,42
14,10	Pegante, Tierra/Pirazina, Pirazina, Antibacterial	4	2,5	63,25	1449,61
14,20	Tostado	1	1	20,00	1452,37
14,34	Verde, Maní, Cáscara papa, Corozo, Maní, Arveja	5	2,6	71,83	1456,24
15,05	Papel, Humedad trapera	2	1,5	34,64	1475,84
15,47	Tieme, Habichuela	2	0,7	24,49	1487,44
16,01	Caramelo	1	1	20,00	1502,33
16,25	Habichuela, Maní, Se me olvidó, Humedad quemado	4	2,6	64,81	1508,92
16,45	Humedad	1	1	20,00	1514,42
17,19	Caramelo quemado	1	5	44,72	1534,73
17,39	Verde, Cigarrillo, Maluco	3	2	48,99	1540,23
18,13	Floral/Linalool, Floral, Verde, Límpido quemado, Verde	5	3,4	82,46	1560,54
19,23	Picante/Maracuyá, Suavísimo	2	1	28,28	1590,75
19,59	Verde	1	2	28,28	1600,66
20,09	Pan, Sin descriptor, Madera	3	0,8	31,62	1615,11
21,16	Costal campo	1	3	34,64	1646,03
21,34	Tostado	1	1	20,00	1651,23
21,50	Albaricoque, Sucio/Hongo	2	2	40,00	1655,85
22,10	Maní/Tostado/Nuez	1	2,5	31,62	1673,19
22,50	Maní, Crema de manos, Sin descriptor, Tostado	3	1,6	44,16	1684,74
23,07	Sin descriptor	1	3	34,64	1701,25
23,59	Espuma colchón	1	3	34,64	1716,73
25,05	Banano, Algarroba, Banano, Banano/Algarrobo	4	2	56,57	1760,18
26,21	Chocolate	1	1	20,00	1794,70
27,08	Nuevo/Monómero, Hierbas/manzanilla	2	1,5	34,64	1810,94

28,04	Cheetos	1	1	20,00	1826,11
28,46	Tostado/Cheetos, Galletas saladas	2	2	40,00	1832,74
29,10	Tostado, Dulce/Floral	2	1	28,28	1842,86
30,03	Chocolate, Fresco, Fresco, Lavanda	4	1,1	42,43	1857,55
30,35	Dulce/Sandía, Frutal/durazno	2	2	40,00	1862,61
32,36	Fresco, Café tostado	2	1	28,28	1894,37
33,59	Creolina, Picante, Quemado	3	1,8	46,90	1929,32
34,32	Tostado	1	1	20,00	1953,81
36,56	Caramelo	1	2	28,28	2033,49
39,12	Menta, Limpio/suave	2	1	28,28	2143,97
46,25	Banano, Agradable/dulce	2	2	40,00	2765,47
47,31	Café tostado	1	1	20,00	2866,80
49,17	Coffee delight, Dulce, Dulce, Caramelo	4	2,5	63,25	3154,06

Tabla 3.

RT: Tiempos de retención; Descriptor: Descriptor aromático; F: Frecuencia; I: Promedio de intensidad; %FM: Porcentaje de frecuencia modificada; KI: Índices de retención de Kovats de los compuestos con posible actividad sensorial, de la muestra de Cold Brew Molino Viejo (calidad baja), a partir de los datos reportados por los panelistas.

RT	Descriptor	F	I	%FM	KI
1,19	Rancio/fétido, Horrible, Desagradable, Desagradable	4	2,5	63,25	691,58
1,42	Naranja, Verde	2	2	40,00	714,36
2,00	Caramelo, Dulce caramelo, feo	3	1,2	37,41	771,78
2,13	Sin descriptor	1	1	20,00	784,65
2,30	Tostado, chocolate	2	0,7	24,49	801,49
3,22	Chocolate dulce	1	1	20,00	966,10
3,33	Hojas árbol	1	1	20,00	977,13
4,10	Trapo sucio/ Madera podrida, Pasto quemado, Papel viejo	3	2,3	52,91	1036,95
5,26	Tarro viejo, Tostado maní	2	1,2	31,62	1133,81
7,53	Plantas, Pan, pegante	3	1,3	39,99	1259,15
8,17	Fresco-Arequipe	1	3	34,64	1280,07
9,10	Húmedo, Tierra mojada, Guardado/Cigarrillo, Cigarro, Humedad	4	1,1	41,18	1309,08
9,42	Fresco, Solvente o alcohol, Pasto	3	1,2	37,41	1318,17
10,16	Piso mojado/Trapera mojada, Maní, Desagradable, Pasto fresco	4	1,5	48,99	1339,17
10,39	Semillas	1	1	20,00	1345,70
11,32	Humedad	1	2	28,28	1372,10
12,05	Crispetas	1	3	34,64	1392,82
12,54	Fresco/Suave, Menta	2	0,7	24,49	1406,54
13,11	Cigarro, Hojas verdes, Mentol, Algo	4	0,6	32,00	1422,28
14,04	Fruta fermentada, Pega loca, Floral Rancio, Pegamento	4	1,7	52,92	1447,96
14,41	Arvejas, Olla quemada, Café tostado, Floral cigarro, Tostado, Cáscara, Humo cigarro, Dulce	5	1,9	61,44	1458,40
15,00	Frutal	1	1	20,00	1474,46

15,13	Feo/Húmedo	1	1	20,00	1478,05
15,48	Cáscara papa, Café dulce	2	1,2	31,62	1487,71
16,24	Trapo mojado, Café frutal	2	1	28,28	1508,65
16,43	Guardado, Café dulce	2	1,5	34,64	1513,87
17,28	Trapera húmeda, Cáscaras, Limoncillo, Mata, Tierra, Caucho	5	1,8	60,55	1537,20
17,59	Cigarro	1	2	28,28	1545,72
18,13	Verduras, Hojas cortadas, Floral/Pecueca, Tierra	4	2	56,57	1560,54
18,53	Ropa guardada	1	2	28,28	1571,53
19,30	Frutal/Chicle	1	1	20,00	1592,67
20,40	Verde	1	1	20,00	1624,07
21,14	Húmedo/Guardado	1	1	20,00	1645,45
21,40	Dulce	1	1	20,00	1652,96
21,58	Tierra	1	2	28,28	1658,16
23,05	Tostado, Maíz tostado, Almendra, Humo	3	1,5	42,43	1700,65
24,10	Orines, Humo	2	1,2	31,62	1731,90
24,42	Café dulce, Dulce, Podrido/Dulce, Algarroba	3	1,9	47,43	1741,43
26,43	Marcador, Hierbabuena, Fresco/Plástico, Plástico	4	1,4	46,90	1800,66
27,39	Café tostado, Caramelo tostado, Miel	3	1	34,64	1815,83
28,26	Café molido, Chocolate, Verdura fermentada, Granos secos	4	1,5	48,99	1829,58
29,47	Frutos rojos	1	2	28,28	1848,70
30,00	Verde, Solvente/Dulce	2	1,2	31,62	1857,08
32,45	Hojas secas, Creolina, Miel quemada	3	2,7	56,56	1895,80
33,57	Desagradable, Tostado/Dañado	2	1,5	34,64	1928,65
34,17	Café ácido	1	1	20,00	1948,78
38,39	Frutal/Naranja, Semilla de Cacao	2	0,7	24,49	2104,50
43,46	Dulce, Quemado, Caramelo cerispeta quemado	3	1	34,64	2525,12
44,25	Café, Dulce/Acaramelado	2	1,5	34,64	2588,52
46,20	Algo dulce	1	2	28,28	2760,85
47,26	Corto	1	1	20,00	2861,93
48,15	Clavos de olor, Cáscara banano	2	1	28,28	2950,61
49,22	Quemado, Ramas, Caramelo quemado	3	1,7	44,71	3059,13

En la **Tabla 1**, los aromas detectados con un %FM superior al 50% se caracterizan por ser predominantemente florales y frutales, acompañados de notas verdes, húmedas y acarameladas. En contraste, en la **Tabla 2** predominan los aromas vegetales y verdes, acompañados de olores defectuosos, aunque también se identifican descriptores acaramelados, tostados y frutales, aunque en un segundo plano.

Por otro lado, en la **Tabla 3**, los aromas con un %FM superiores al 50% se caracterizan principalmente por descriptores desagradables, como rancio, quemado y podrido, los cuales se acompañan de notas vegetales, húmedas y tostadas. Se tienen en cuenta los aromas y descriptores con %FM mayor al 50%, dado que estos son los que representan una mayor importancia o impacto en la percepción del aroma en las muestras Brattoli et al., 2013).

Además de los aromas característicos predominantes en cada calidad de café, se evidencia que, para calidad alta y media, se cuenta con aromas como los cítricos en común. También destacan notas delicadas como olor a rosas, lavanda, vainilla o maracuyá, las cuales fueron percibidas con mayor intensidad.

Todo esto en contraste con el café de baja calidad, en el que predominan aromas desagradables y quemados, tanto para compuestos con valores de %FM superiores a 50%, como para compuestos que fueron percibidos con mayor intensidad.

Tabla 4.

RT (tiempos de retención) y KI (índices de retención de Kovats) de los alcanos (C7-C30).

#C	Alcano	RT	KI
7	Heptano	1,3	700
8	Octano	2,3	800
9	Nonano	2,6	900
10	Decano	3,6	1000
11	Undecano	5,0	1100
12	Dodecano	5,7	1200
13	Tridecano	8,8	1300
14	Tetradecano	12,3	1400
15	Pentadecano	15,9	1500
16	Hexadecano	19,6	1600
17	Heptadecano	23,0	1700
18	Octadecano	26,4	1800
19	Nonadecano	32,7	1900
20	Eicosano	35,7	2000
21	Heneicosano	38,3	2100
22	Docosano	40,2	2200
23	Tricosano	40,6	2300
24	Tetracosano	41,8	2400
25	Pentacosano	43,1	2500
26	Hexacosano	44,4	2600
27	Heptacosano	45,5	2700
28	Octacosano	46,6	2800
29	Nonacosano	47,6	2900
30	Triacotano	48,6	3000

Tabla 5.

Identificación tentativa de compuestos químicos responsables del aroma en el Cold Brew con café Josefa (calidad alta), mediante los parámetros de índice de retención de Kovats y olor.

IK	IK(NIST)	%Error	Compuesto	CAS	%FM	Descriptor
1277.78	1274	0,3	2-Methylpyrazine	109-08-0	44,72	Tierra mojada, Dulce / Floral

1320.44	1320	0,03	2,5-dimethylpyrazine	109-08-0	40,00	Cítrico, Fresco
1402.13	1399	0,22	2-Ethyl-5-Methylpyrazine	13360-64-0	24,49	Tostado
1448.79	1447	0,12	3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine	13360-65-1	61,64	Valeriana/Mata, Verde/Floral
1455.14	1452	0,22	Linalool oxide	34995-77-2	54,77	Flores aplastadas, Pasto/Verde
1462.59	1460	0,18	Acetic acid	64-19-7	45,61	Caramelo, Tostado
1508.10	1505	0,21	2-Acetyl furan	1192-62-7	20,00	Guardado, Hojas secas
1529.52	1528	0,1	Benzaldehyde	100-52-7	28,28	Verde, Mata
1540.50	1539	0,1	Furfuryl acetate	623-17-6	20,00	Verde menta
1544.62	1547	0,15	Linalool	78-70-6	28,28	Tierra Mojada
1569.33	1570	0,04	5-methylfuran-2-carbaldehyde	620-02-0	40,00	Dulce, Tostado
1614.53	1615	0,03	Di-2-furylmethane	1197-40-6	31,62	Fruta cítrica, Paja limón
1712.86	1713	0,01	Valeric acid	109-52-4	31,62	Dulce
1764.64	1763	0,09	Ethanone, 1-(2-thienyl)	88-15-3	28,28	Algarrobo
1800.82	1801	0,01	Beta-damascenone	23696-85-7	28,28	Café
1816.31	1817	0,04	1-Furfurylpyrrole	1438-94-4	34,64	Fresco, Canela
1858.98	1857	0,11	Guaiacol	90-05-1	46,90	Fresa, Dulce/Frutar, Dulce, Dulce-fresco, Frutar
1895.01	1894	0,05	2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy	21835-01-8	34,64	Alcohol
2054.44	2055	0,03	4-Ethylguaiacol	2785-89-9	24,49	Caramelo, Caramelo

Tabla 6.

Identificación tentativa de compuestos químicos responsables del aroma en el Cold Brew con café Matiz (calidad media) mediante los parámetros de índice de retención de Kovats y olor.

IK	IK(NIST)	%Error	Compuesto	CAS	%FM	Descriptor
885.14	886.4	0,14	Butanal	123-72-8	28,28	Cartón
1219.93	1219	0,08	Pyrazine	290-37-9	28,27	Chocolate, Mostaza, Mantequilla
1320.44	1320	0,03	2,5-dimethylpyrazine	109-08-0	20,00	Fresco
1363.01	1363	0,001	2-Ethyl-6-methylpyrazine	13925-03-6	20,00	Fruta
1405.44	1399	0,46	2-Ethyl-5-Methylpyrazine	13360-64-0	20,00	Cítrico
1449.51	1447	0,17	3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine	13360-65-1	63,25	Pegante, Tierra/Pirazina, Pirazina, Antibacterial
1452.37	1452	0,03	Linalool oxide	34995-77-2	20,00	Tostado
1475.84	1473	0,19	Furfural	98-01-1	34,64	Papel, Humedad trapera

1502.33	1499	0,22	Ethanone, 1-(2-furanyl)	1192-62-7	20,00	Caramelo
1508.92	1505	0,26	2-Acetyl furan	1192-62-7	64,81	Habichuela, Maní, Humedad quemado
1540.23	1539	0,08	Furfuryl acetate	623-17-6	48,99	Verde, Cigarrillo, Maluco
1600.66	1602	0,08	Furan-2-ylmethyl propanoate	623-19-8	28,28	Verde
1615.11	1615	0,01	Di-2-furylmethane	1197-40-6	31,62	Pan, Madera
1684.74	1684	0,04	Thenaldehyde	98-03-3	44,16	Maní, Crema de manos, Tostado
1716.73	1713	0,22	Valeric acid	109-52-4	34,64	Espuma colchón
1760.18	1762	0,1	2-Acetylthiophene	88-15-3	56,57	Banano, Algarroba, Banano, Banano/Algarrobo
1826.11	1824	0,12	1H-Pyrrole, 1-(2-furanylmethyl)	1438-94-4	20,00	Cheetos
1857.55	1857	0,03	Guaiacol	90-05-1	42,43	Chocolate, Fresco, Fresco, Lavanda
1862.61	1861	0,09	Phenol, 2-methoxy	90-05-1	40,00	Dulce/Sandía, Frutal/durazno
1894.37	1894	0,02	2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy	21835-01-8	28,28	Fresco, Café tostado
2033.49	2030	0,17	1H-Pyrrole-2-carboxaldehyde	1003-29-8	28,28	Caramelo

Tabla 7.

Identificación tentativa de compuestos químicos responsables del aroma en el Cold Brew con café Molino viejo (calidad baja) mediante los parámetros de índice de retención de Kovats y olor.

IK	IK(NIST)	%Error	Compuesto	CAS	%FM	Descriptor
1318.17	1319	0,06	2,6-Dimethylpyrazine	108-50-9	37,41	Fresco, Solvente o alcohol, Pasto
1345.70	1343	0,20	Ethylpyrazine	13925-00-3	20,00	Semillas
1392.82	1399	0,44	2-Ethyl-5-Methylpyrazine	13360-64-0	34,64	Crispetas
1447.96	1447	0,07	3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine	13360-65-1	52,92	Fruta fermentada, Pegaloca, Floral Rancio
1458.40	1460	0,11	Acetic acid	64-19-7	61,44	Arvejas, Olla quemada, Café tostado, Floral cigarro, Cáscara papa, Humo cigarro
1474.46	1473	0,1	Furfural	98-01-1	20,00	Frutal
1508.65	1505	0,24	2-Acetyl furan	1192-62-7	28,28	Trapo mojado, Café frutal
1537.20	1539	0,12	Furfuryl acetate	623-17-6	60,55	Trapera húmeda, Cáscaras, Limoncillo, Mata verde, Tierra
1545.72	1547	0,08	Linalool	78-70-6	28,28	Cigarro
1571.53	1570	0,1	5-methylfuran-2-	620-02-0	28,28	Ropa guardada

			carbaldehyde			
1800.66	1801	0,02	Beta-damascenone	23696-85-7	46,90	Marcador, Fresco/Plástico, Plástico
1815.83	1817	0,06	1-Furfurylpyrrole	1438-94-4	34,64	Café tostado, Caramelo tostado, Miel
1829.58	1824	0,31	1H-Pyrrole, 1-(2-furanylmethyl)	1438-94-4	48,99	Café molido, Verde/Verdura fermentada, Granos secos
1857.08	1857	0,004	Guaiacol	90-05-1	31,62	Verde, Solvente - dulce
1895.80	1894	0,1	2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy	21835-01-8	56,56	Hojas secas, Creolina, Miel quemada
2104.50	2110	0,26	Hexahydrofarnesyl acetone	502-69-2	24,49	Frutal / Naranja, Semilla de Cacao

En la **Tabla 5**, se resalta que, el compuesto tentativo con mayor %FM reportado (61,64%) es el **3-etil-2,5-dimetilpirazina**, el cual corresponde a una pirazina, que tiene asociados descriptores de aroma como Valeriana, verde y floral; o el compuesto tentativo **óxido de linalol**, con un %FM de 54,77%, que tiene descriptores como flores, pasto y verde. En general, los compuestos tentativos de esta calidad alta de café, se destacan por tener descriptores de olores agradables y que parecen tener un alto impacto en el perfil sensorial de la muestra.

En el caso del café de calidad media (véase **Tabla 6**), el compuesto tentativo con mayor %FM (64,81%) corresponde al **2-acetilfurano**, el cual tiene asociados descriptores como habichuela, maní y humedad; o el **3-etil-2,5-dimetilpirazina**, con un %FM de 63,25%, el cual es un compuesto tentativo que corresponde a una pirazina, pero con descriptores como pegante, tierra/pirazina y antibacterial.

Cabe mencionar que, este café de calidad media contiene compuestos tentativos con aromas agradables en su mayoría, sin embargo, se cuenta con la presencia de algunos compuestos no tan agradables para el perfil aromático de la muestra.

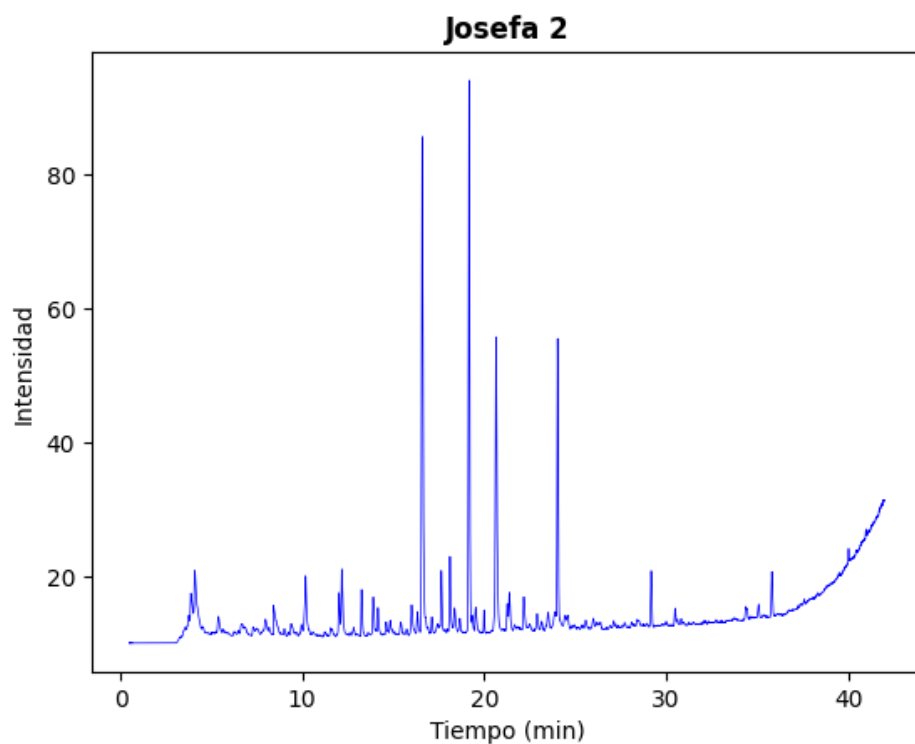
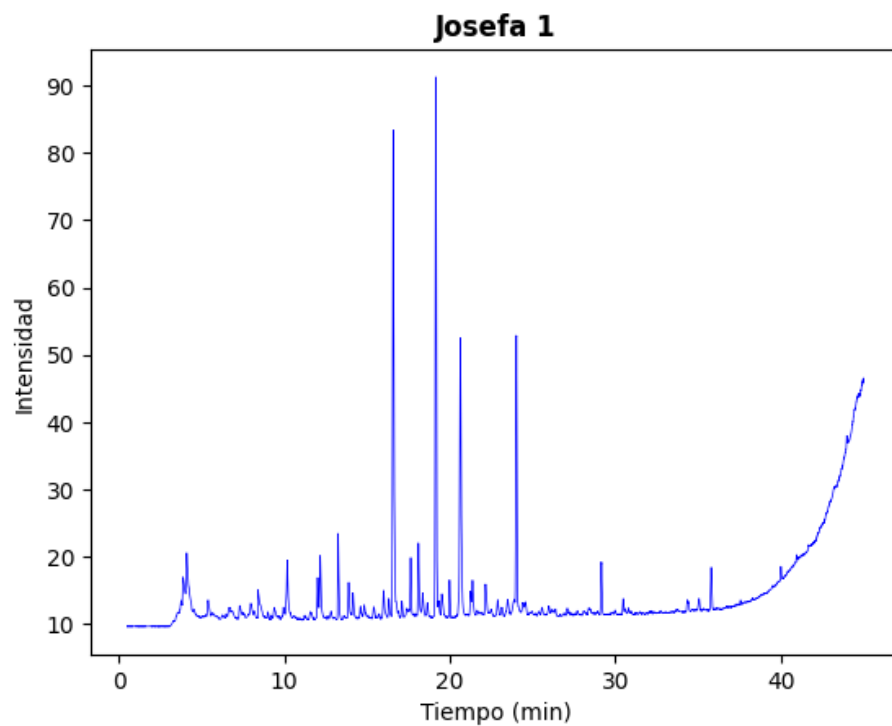
Para el café de calidad baja (véase **Tabla 7**), el compuesto tentativo con mayor %FM (61,44%) corresponde al **ácido acético**, con descriptores de aroma como olla quemada, floral cigarro, cáscara papa y humo cigarro; o el compuesto tentativo **acetato de furfurilo**, con un %FM de 60,55%, el cual tiene como descriptores aromáticos trapería húmeda, cáscaras, limoncillo y tierra. En este caso, a pesar de que se tiene la impresión de que predominan olores desagradables, también se evidencia la presencia de compuestos tentativos con notas tostadas y vegetales.

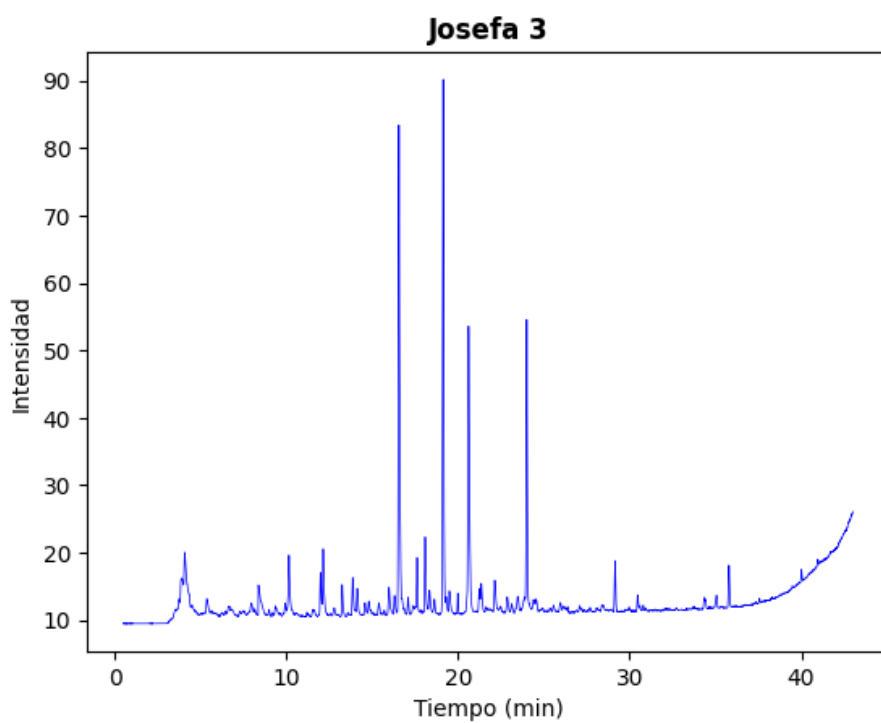
En general, las tres muestras de café de diferente calidad contaron con la presencia de compuestos tentativos como pirazinas, fenoles, ácidos orgánicos, furanos, alcoholes, aldehídos y terpenos, los cuales son comunes, o se espera que estén presentes, en las matrices de café (Yu et al., 2021).

Se debe mencionar que, los compuestos tentativos pueden no coincidir con los descriptores de aroma (a pesar de tener un bajo %error), dado que en el presente trabajo no se realizó directamente la comparación de espectros de masas de las muestras con los reportados en las librerías de la NIST, sino que, estas fueron utilizadas como referencia para la identificación

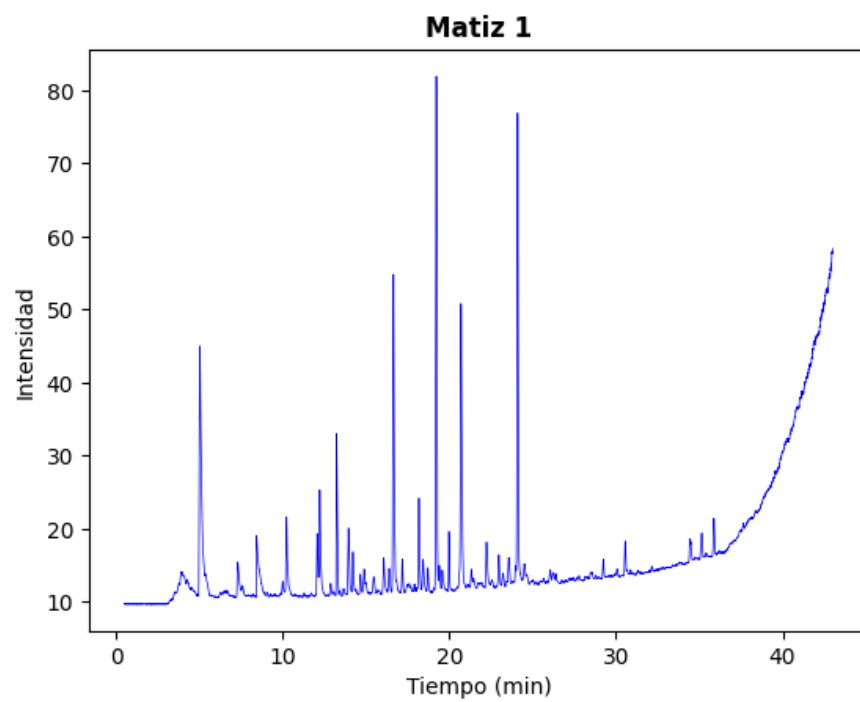
tentativa de los compuestos sensorialmente activos en el Cold Brew (National Institute of Standards and Technology, n.d.).

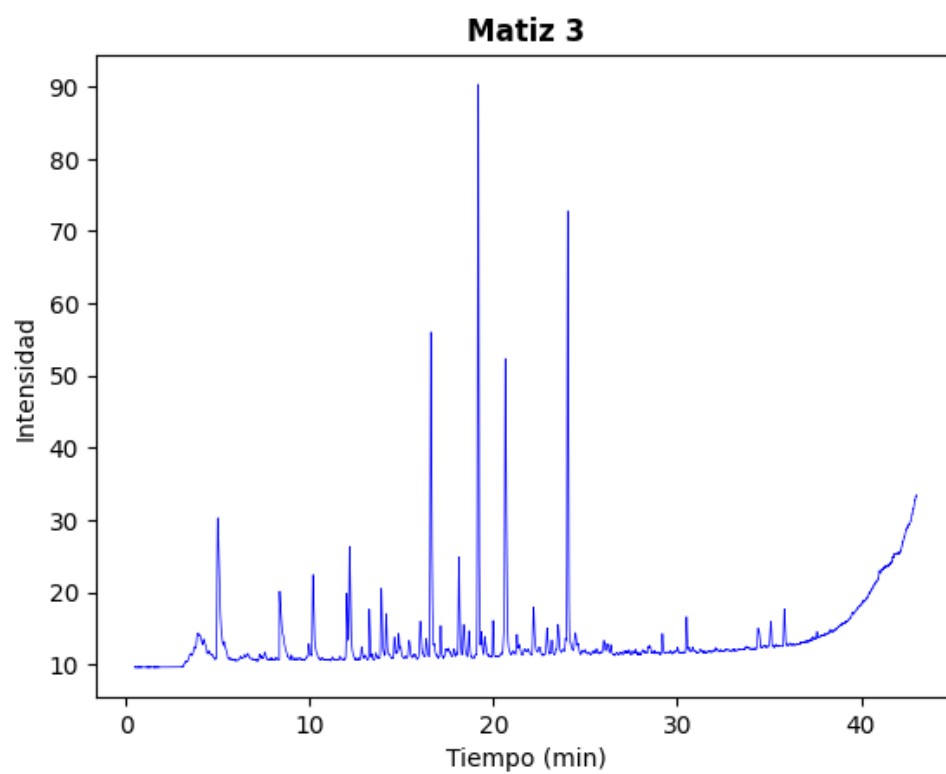
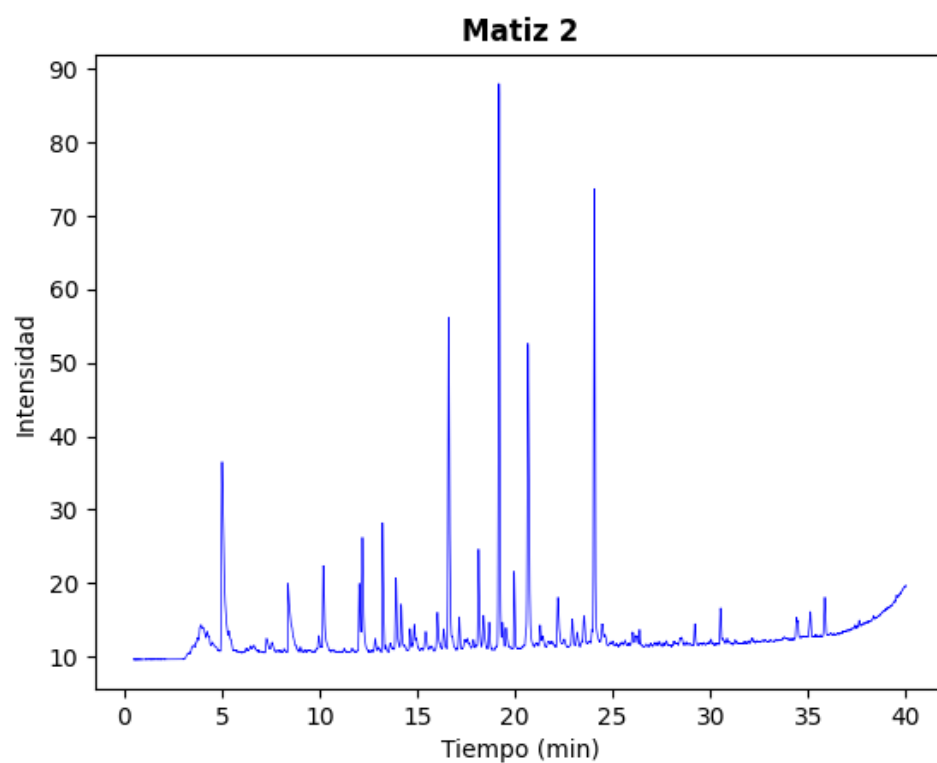
Cromatogramas café Josefa (calidad alta):

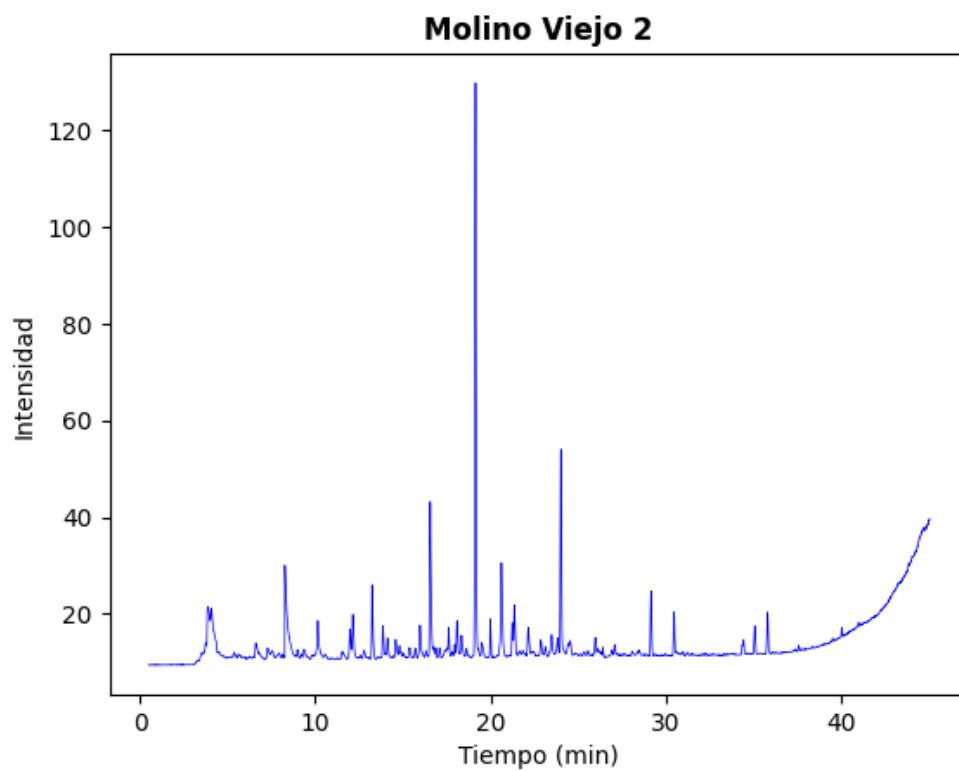
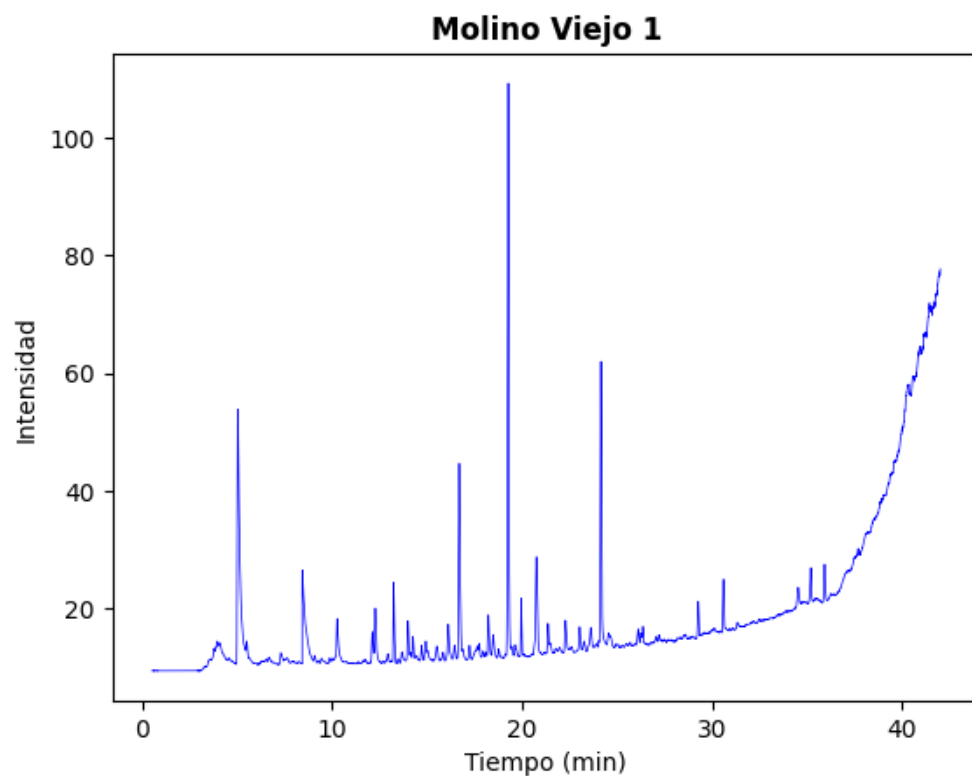


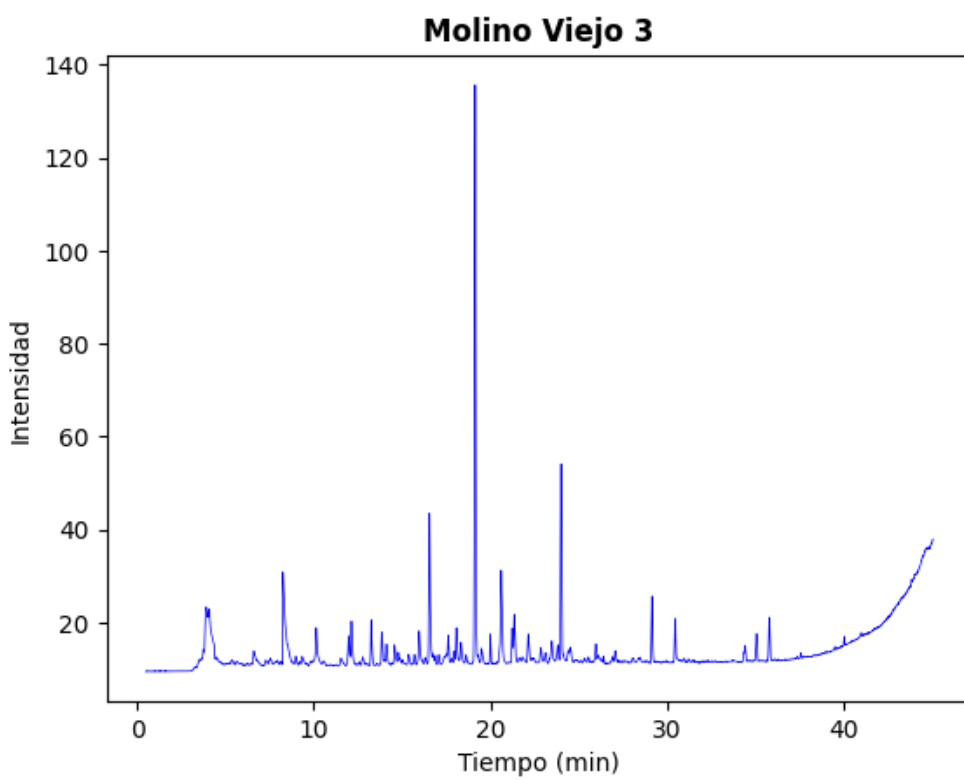


Cromatogramas café Matiz (calidad media):





Cromatogramas café Molino viejo (calidad baja):



8 Discusión

La revisión de la literatura permitió identificar vacíos importantes en el conocimiento sobre el café Cold Brew, particularmente en lo relacionado con su composición y caracterización química. Además, se evidenció que en varios de los estudios existentes no se emplea un método de preparación estandarizado, recurriendo en su lugar a técnicas comúnmente utilizadas a nivel comercial, como el goteo o la inmersión.

En cuanto al entrenamiento de los panelistas, este resultó satisfactorio, aunque en algunos casos no se reportaron descriptores propios del ámbito sensorial del café. No obstante, esta limitación no impidió la correcta identificación de los aromas, ya que durante las olfatometrías los panelistas lograron reconocer la mayoría de olores y asignarles un descriptor adecuado.

Tanto los cromatogramas como los olfatogramas evidenciaron que la técnica de HS-SPME fue eficaz para la extracción de compuestos volátiles presentes en las muestras. Esto se reflejó en la obtención de picos característicos en el cromatógrafo de gases, así como en la detección de un número considerable de compuestos por parte de los panelistas durante las sesiones de olfatometría.

En los cromatogramas se puede observar que después del minuto 40 la línea base se pierde y comienza el sangrado de la columna, lo cual da entrada a una posible incertidumbre sobre la separación de los últimos compuestos. Sin embargo, en las olfatometrías esto no parece ser un inconveniente, dado que después del minuto 40, se siguen detectando aromas sin percances, los cuales eluyen espaciados, de forma que se les asigna descriptores sin ningún problema.

El análisis de las tres muestras de café de diferente calidad evidenció que el perfil aromático sensorialmente activo varía notablemente según la calidad. En el café de calidad alta, los compuestos tentativos predominantes, como el 3-etil-2,5-dimetilpirazina y el óxido de linalol, presentaron descriptores mayormente agradables (floral, verde, hierbas), lo que sugiere una contribución positiva al perfil sensorial final. Estos resultados son coherentes con lo reportado por Yu et al. (2021), quienes señalan que pirazinas y terpenos están asociados a notas complejas y deseables en cafés de alta calidad.

En el café de calidad media, aunque se identificaron compuestos comunes a la calidad alta (como el 3-etil-2,5-dimetilpirazina), se observaron descriptores menos atractivos como pegante o tierra/pirazina, junto con compuestos como el 2-acetilfurano, que aportan matices terrosos y a humedad. Esto podría indicar una menor uniformidad y limpieza aromática, posiblemente asociada a variaciones en el procesamiento o la calidad del grano.

Por su parte, el café de calidad baja estuvo caracterizado por una mayor proporción de compuestos con descriptores negativos, como el ácido acético (olla quemada, humo, cáscara de papa) y el acetato de furfurilo (trapera húmeda, tierra), los cuales pueden relacionarse con defectos de fermentación o almacenamiento inadecuado, tal como se ha descrito en estudios previos (Buffo & Cardelli-Freire, 2004). Sin embargo, incluso en esta calidad, se detectaron compuestos con notas tostadas y vegetales, lo que indica que no todos los componentes aromáticos son necesariamente desfavorables.

En las tres muestras se identificó un grupo común de familias químicas (pirazinas, fenoles, ácidos orgánicos, furanos, alcoholes, aldehídos y terpenos) que corresponden a compuestos esperados en matrices de café (Yu et al., 2021). No obstante, la diferencia radica en la proporción relativa y el tipo de descriptores asociados, lo que refuerza la idea de que la calidad sensorial está fuertemente influenciada por la presencia y concentración de compuestos específicos.

Finalmente, es importante señalar que las identificaciones fueron tentativas y basadas en coincidencias de espectros de masas con la librería NIST, sin confirmación analítica mediante patrones puros. Esto implica que, aunque los resultados ofrecen una aproximación útil para la caracterización aromática del Cold Brew, estudios posteriores con métodos confirmatorios serían necesarios para una asignación definitiva de compuestos.

9 Conclusiones

El análisis mediante GC-O de las tres muestras de café permitió establecer diferencias notables en la composición de compuestos volátiles sensorialmente activos según su nivel de calidad. En la muestra correspondiente al café de calidad alta, se identificaron compuestos tentativos con descriptores predominantemente agradables, como florales, frutales y verdes, muchos de ellos asociados a pirazinas y terpenos. De los 53 compuestos reportados por los panelistas, se propusieron 19 compuestos químicos tentativos.

El café de calidad media presentó un perfil mixto, con la presencia de compuestos aromáticos agradables, pero también con una proporción significativa de compuestos asociados a notas menos deseables, como pegante o humedad. De los 54 compuestos reportados por los panelistas, se propusieron 21 compuestos químicos tentativos.

El café de calidad baja mostró una mayor prevalencia de compuestos con descriptores negativos, como olla quemada, cigarro o trapería húmeda. Sin embargo, también se encontraron algunas notas vegetales y tostadas, lo cual sugiere una cierta complejidad aún en calidades percibidas como inferiores. De los compuestos 53 reportados por los panelistas, se propusieron 16 compuestos químicos tentativos.

10 Recomendaciones

Implementar en futuros estudios el uso de espectrometría de masas acoplada a la cromatografía de gases, para lograr una identificación más precisa de los compuestos volátiles, lo que permitiría una caracterización más completa del perfil aromático del Cold Brew.

Ampliar la investigación a un mayor número de muestras de café de diferentes orígenes y calidades, con el fin de establecer patrones más sólidos sobre la relación entre la calidad del café y su perfil de compuestos sensorialmente activos.

Explorar el efecto de diferentes tiempos de extracción y tamaños de molienda en el método Cold Brew, para evaluar su influencia en la composición y concentración de compuestos volátiles.

Referencias

- Batali, M. E., Lim, L. X., Liang, J., Yeager, S. E., Thompson, A. N., Han, J., Ristenpart, W. D., & Guinard, J.-X. (2022). Sensory analysis of full immersion coffee: Cold brew is more floral, and less bitter, sour, and rubbery than hot brew. *Foods*, *11*(16), 2440. <https://doi.org/10.3390/foods11162440>
- Brattoli, M., Cisternino, E., Dambruoso, P. R., de Gennaro, G., Giungato, P., Mazzone, A., Palmisani, J., & Tutino, M. (2013). Gas chromatography analysis with olfactometric detection (GC-O) as a useful methodology for chemical characterization of odorous compounds. *Sensors*, *13*(12), 16759–16800. <https://doi.org/10.3390/s131216759>
- Carroll, W. F. (2022). Coffee. En J. P. Miller & C. Van Buiten (Eds.), *Superfoods. Food and health* (pp. 51–64). Springer, Cham.
- Clarke, R. J., & Vitzthum, O. G. (Eds.). (2001). *Coffee: Recent developments*. Blackwell Science Ltd.
- Coffee Quality Institute. (2024, noviembre 23). *Home*. <https://www.coffeeinstitute.org>
- Córdoba, N., Moreno, F. L., Osorio, C., Velásquez, S., & Ruiz, Y. (2021). Chemical and sensory evaluation of cold brew coffees using different roasting profiles and brewing methods. *Food Research International*, *141*, 110141. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110141>
- Editions Jean Lenoir. (s.f.). *Le Nez du Café & Le Nez du Vin*. Le Nez. Recuperado el 25 de enero de 2025, de <https://www.lenez.com/en/editions-jean-lenoir>
- Flament, I. (2002). *Coffee flavor chemistry*. John Wiley & Sons, Ltd.
- McCain-Keefer, H. R., Meals, S., & Drake, M. (2020). The sensory properties and consumer acceptance of cold brew coffee. *Journal of Sensory Studies*, *35*(6). <https://doi.org/10.1111/joss.12604>
- Nair, K. P. P. (2010). Coffee. En *The agronomy and economy of important tree crops of the developing world* (pp. 181–208). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384677-8.00006-0>
- National Institute of Standards and Technology (NIST). (n.d.). *NIST Chemistry WebBook*. U.S. Department of Commerce. <https://webbook.nist.gov/chemistry/>
- Rodríguez-Delgado, M. Á., Socas-Rodríguez, B., & Herrera-Herrera, A. V. (Eds.). (2024). *Microextraction techniques: Fundamentals, applications and recent developments*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-50527-0>
- Seninde, D. R., & Chambers, E. IV. (2020). Coffee flavor: A review. *Beverages*, *6*(3), 44. <https://doi.org/10.3390/beverages6030044>

Specialty Coffee Association. (2021, 15 de junio). *How to use the flavor wheel in eight steps*. Recuperado el 25 de enero de 2025, de <https://sca.coffee/sca-news/how-to-use-the-flavor-wheel-in-eight-steps>

Specialty Coffee Association. (2024, noviembre 23). *Home*. <https://sca.coffee>

Tylewicz, U., Nowacka, M., Martín-García, B., Wiktor, A., & Gómez Caravaca, A. M. (2018). Target sources of polyphenols in different food products and their processing by-products. En *Polyphenols: Properties, recovery, and applications* (pp. 150–151). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813572-3.00005-1>

Velásquez, S., & Banchón, C. (2022). 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.

Yu, J.-M., Chu, M., Park, H., Park, J., & Lee, K.-G. (2021). Analysis of volatile compounds in coffee prepared by various brewing and roasting methods. *Foods*, 10(6), 1347. <https://doi.org/10.3390/foods10061347>