

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS PARA OBTENER  
EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL**

**EVALUACIÓN DEL AUTOCLAVADO EN LA  
ACEPTACIÓN SENSORIAL Y EN EL PERFIL VOLÁTIL  
DE LA BEBIDA DE CAFÉ**

**Autora: Bach. Alejandra Victoria Contreras Puerta**

**Asesores:**

**M.Sc. Aline Camila Caetano**

**Mg. Segundo Grimaldo Chavez Quintana**

**Registro: (                    )**

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2024**

## **DEDICATORIA**

A mi mamita, Marybel Puerta Reyna, el tesoro más valioso que Dios me dio por 20 años, por enseñarme su gran amor, darme su apoyo incondicional, brindarme consejos y siempre luchar por ambas, por nunca rendirse y mostrarme una hermosa sonrisa todos los días, siempre serás mi mayor motivo para seguir adelante y alcanzar mis sueños, sé que desde el cielo me guías y sigues cuidando.

## AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirme con mi madre quien siempre me daba su constante aliento y sacrificio, me apoyó en todo momento y me dio fortaleza cuando más lo necesitaba en los primeros años de mi carrera, fue la persona que me inspiró para poder culminar esta etapa de mi vida.

A mi familia quienes estuvieron para mí cuando más los necesité y me apoyaron incondicionalmente, su amor y respaldo fueron mi mayor motivación.

A mis hermanas Maria Luciana Contreras Puerta y Maria Dolores Contreras Puerta por brindarme su ayuda en el desarrollo de la prueba sensorial y por darme aliento y soporte en momentos difíciles.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por acogerme en las aulas y contribuir en mi formación académica y profesional.

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDESCES) por la contribución y recursos que fueron fundamentales para la culminación de este trabajo mediante el uso de sus laboratorios.

A mi asesora la M.Sc. Aline Camila Caetano por su asesoramiento y conocimientos, por enseñarme a utilizar equipos y softwares, por su paciencia y colaboración a lo largo de todo este proceso para el desarrollo de este trabajo.

A mi coasesor el Mg. Segundo Grimaldo Chavez Quintana por su asesoramiento y orientación, sus conocimientos y enseñanzas fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Pedro Javier Mansilla Córdova por sus conocimientos y enseñanzas que contribuyeron a mejorar la calidad de este trabajo.

Al Dr. Jorge Ronny Díaz Valderrama por la compra del desecador, gracias por el apoyo de su adquisición después del incidente durante la ejecución del trabajo.

A la Ing. Fiorela Gaslac Culqui, asistente de investigación de la Clínica Fitopatológica, quien me enseñó a manejar equipos, las técnicas empleadas en el trabajo y me brindó su amistad en todo el tiempo de la ejecución.

Al Ing. Albaro Mendoza Ullilen y la Ing. Bianca Flores Inga, asistentes de investigación del área de control del café quienes me enseñaron sobre el proceso de la transformación del café verde a bebida y me apoyaron en la evaluación sensorial.

A mis amigas y amigo, la Ing. Luz Mileni Santillan Santillan, Ing. Delis Llobi Santillan Maldonado y el Ing. Heiner Guiop Huaman, por la motivación y soporte que me daban en todo momento para la culminación de este trabajo.

A Alberto por su apoyo, comprensión y amor incondicional a lo largo de este viaje académico, su constante aliento ha sido fundamental para que pudiera alcanzar este logro, gracias por celebrar conmigo cada pequeño éxito.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ  
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA  
RECTOR**

**Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES  
VICERRECTOR ACADÉMICO**

**Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA  
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

**Dr. ERICK ALDO AUQUIÑIVIN SILVA  
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS**



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ( X )/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Evaluación del autoclavado en la aceptación sensorial y en el perfil volátil de la bebida de café; del egresado Alejandra Victoria Contreras Puerta de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agriindustrial de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 06 de junio de 2024



Aline Camila Caetano

Firma y nombre completo del Asesor

Aline Camila Caetano



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

**ANEXO 3-L**

**VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Evaluación del autoclavado en la aceptación sensorial y en el perfil volátil de la bebida de café; del egresado Alejandra Victoria Contreras Puerta de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 06 de junio de 2024



Firma y nombre completo del Asesor

Segundo Gamdo Chozy Ombra

**JURADO EVALUADOR DE TESIS**



---

Ph. D. ARMSTRONG BARNARD FERNÁNDEZ JERI  
**PRESIDENTE**



---

D. Sc. ELENA VICTORIA TORRES MAMANI  
**SECRETARIA**



---

Ms. ROBERT JAVIER CRUZALEGUI FERNÁNDEZ  
**VOCAL**





**ANEXO 3-Q**

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

*Evaluación del autoclavado en la aceptación sensorial y en el perfil volátil de la bebida de café*

presentada por el estudiante ( )/egresado (X) *Alejandra Victoria Contreras Puentes*

de la Escuela Profesional de *Ingeniería Agroindustrial*

con correo electrónico institucional *7277900971@untrm.edu.pe*

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 16 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene \_\_\_\_\_ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, 03 de Junio del 2024

  
SECRETARIO

  
VOCAL

  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....  
.....

# Evaluación del autoclavado en la aceptación sensorial y en el perfil volátil de la bebida de café

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>16%</b>	<b>15%</b>	<b>7%</b>	<b>5%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>6%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.untrm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>tesis.ipn.mx</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>5</b>	<b>ouci.dntb.gov.ua</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.unal.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.cinvestav.mx</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>



**ANEXO 3-S**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

En la ciudad de Chachapoyas, el día 10 de Junio del año 2024, siendo las 4:00 horas, el aspirante: Alejandra Victoria Contreras Puerta, asesorado por Aline Camila Caetano defiende en sesión pública presencial (X) / a distancia ( ) la Tesis titulada: Evaluación del autoclavado en la aceptación sensorial y en el perfil volátil de la bebida de café, para obtener el Título Profesional de Ingeniería Agroindustrial, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Armstrong Barnard Fernández Jeri  
Secretario: Flem Victoria Torres Mamani  
Vocal: Robert Javier Cruzalegui Fernández

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado (X) por Unanimidad (X)/Mayoría ( ) Desaprobado ( )

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 05:00 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

[Signature]  
SECRETARIO

[Signature]  
VOCAL

[Signature]  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....

## ÍNDICE

Reporte del Software Turnitin .....	x
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
I INTRODUCCIÓN .....	18
II MATERIAL Y MÉTODOS.....	21
2.1 Material de estudio.....	21
2.2 Lugar de ejecución.....	21
2.3 Diseño experimental .....	21
2.4 Procedimiento del experimento .....	21
2.5 pH del grano de café verde .....	21
2.6 Humedad del grano de café verde.....	22
2.7 Tostado y molido de los granos de café.....	22
2.8 Elaboración de la bebida.....	22
2.9 Análisis sensorial .....	22
2.10 Análisis cromatográficos por SPME/GC-MS para determinación del perfil de COV en los granos de café verde.....	24
2.11 Análisis cromatográficos por SPME/GC-MS para determinación del perfil de COV en los granos de café tostados .....	25
2.12 Análisis cromatográficos por SPME/GC-MS para determinación del perfil de COV en la bebida de café .....	25
2.13 Identificación de los COV .....	25
2.14 Análisis de datos .....	25
III RESULTADOS .....	27
3.1 Características fisicoquímicas de los granos de café autoclavados y sin autoclavar.....	27
3.2 Aspectos visuales.....	27

3.3	Análisis sensorial de la bebida de café .....	27
3.3.1	Prueba triangular (discriminatoria).....	28
3.3.2	Prueba de aceptación (afectiva) .....	28
3.4	Compuestos orgánicos volátiles (COV) por SPME/GC-MS .....	29
3.4.1	COV del café verde sin y con autoclavado.....	29
3.4.2	COV del café tostado sin y con autoclavado .....	30
3.4.3	COV de la bebida de café elaborada con café sin y con autoclavado.....	30
IV	DISCUSIÓN .....	36
V	CONCLUSIONES .....	43
VI	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44
	ANEXOS .....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Hoja de respuesta para el análisis triangular .....	23
<b>Figura 2</b> Hoja de respuesta para el análisis de aceptación.....	24
<b>Figura 3</b> Aspectos visuales comparativos en el café sin autoclavar y autoclavado.....	28
<b>Figura 4</b> Resultados de la prueba sensorial de aceptación.....	29
<b>Figura 5</b> Gráficos de caja y bigote de los COV en el grano de café verde .....	65
<b>Figura 6</b> Gráficos de caja y bigote de los COV en el grano de café tostado .....	66
<b>Figura 7</b> Gráficos de caja y bigote de los COV en la bebida de café .....	67
<b>Figura 8</b> Proceso de autoclavado del grano de café, (I) secado de granos de café autoclavado en estufa y (II) a la izquierda grano de café autoclavado y a la derecha grano de café no autoclavado.....	68
<b>Figura 9</b> Determinación de humedad y pH en granos de café, (I) determinación de humedad en el medidor de humedad GEHAKA, (II) muestras de granos de café por triplicado para medir pH, (a) pH de granos de café en el potenciómetro Thermo Scientific .....	68
<b>Figura 10</b> Proceso de café para análisis sensorial, (I) tamizado de granos de café verde, (II) granos de café tostados, (III) molienda de granos de café y pesado, (IV) extracción de café expreso, (V) preparación de café americano y (VI) servido de café.....	69
<b>Figura 11</b> Presentación de bandejas para prueba sensorial, (I) prueba sensorial triangular y (II) prueba sensorial afectiva .....	70
<b>Figura 12</b> Prueba sensorial triangular .....	70
<b>Figura 13</b> Prueba sensorial afectiva .....	71
<b>Figura 14</b> Viales para los análisis cromatográficos del grano de café verde y termobloque para la microextracción en fase sólida (SPME).....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Prueba triangular (unilateral, $p = 1/3$ ). Número mínimo de evaluadores correctos para establecer significancias a varios niveles de probabilidades .....	26
<b>Tabla 2</b> Humedad y pH del café verde con y sin autoclavado.....	27
<b>Tabla 3</b> Prueba de rangos con signo de Wilcoxon.....	29
<b>Tabla 4</b> Composición de la fracción volátil en los cafés con y sin tratamiento.....	31
<b>Tabla 5</b> Tabla de respuestas de la prueba sensorial triangular.....	59
<b>Tabla 6</b> Tabla de respuestas de la prueba sensorial de aceptación.....	62

## RESUMEN

La calidad de una buena bebida de café se ha expresado como una experiencia agradable por un conjunto de características como sabor, cuerpo y aroma sin defectos. El sabor sigue siendo el parámetro más importante para el consumidor al momento de cualificar la bebida de café. En este sentido, el presente trabajo evaluó las características sensoriales y químicas de la bebida de café preparada con granos sin autoclavar y autoclavados. Se realizaron análisis fisicoquímicos (pH y humedad) y sensoriales mediante pruebas discriminatorias y afectivas, así como análisis cromatográficos, por cromatografía de gases acoplada a detector de masas (GC-MS), para identificar compuestos orgánicos volátiles (COV) en muestras de grano de café verde, grano tostado y bebida de café. Los resultados mostraron diferencias significativas en ciertos COV entre los tratamientos, afectando atributos como el aroma y sabor de la bebida. Los granos autoclavados presentaron un perfil de COV distinto que influyó positivamente en algunos atributos sensoriales del café, aunque otros atributos como el sabor tendieron a ser mejores en el café sin autoclavar. Estos hallazgos aportan a la comprensión de cómo los tratamientos térmicos pueden optimizar la calidad del café, siendo relevantes para la industria cafetalera.

**Palabras-clave:** café, calidad, compuestos orgánicos volátiles (COV), GC-MS.



## ABSTRACT

The quality of a good coffee beverage has been expressed as a pleasant experience due to a set of characteristics such as flavor, body and aroma without defects. Flavor remains the most important parameter for the consumer when qualifying the coffee drink. In this sense, the present research evaluated the sensory and chemical characteristics of the coffee beverage prepared with non-autoclaved and autoclaved beans. Physicochemical (pH and humidity) and sensory analyzes were carried out through discriminatory and affective tests, as well as chromatographic analysis, by gas chromatography coupled to a mass detector (GC-MS), to identify volatile organic compounds (VOCs) in samples of green coffee bean, roasted bean and coffee beverage. The results showed significant differences in certain VOCs between the treatments, affecting attributes such as the aroma and flavor of the drink. The autoclaved beans presented a different VOC profile that positively influenced some sensory attributes of the coffee, although other attributes such as flavor tended to be better in the non-autoclaved coffee. These findings contribute to the understanding of how thermal treatments can optimize coffee quality, being relevant to the coffee industry.

**Keywords:** coffee, quality, volatile organic compounds (VOC), GC-MS.

## I INTRODUCCIÓN

El café es una de las plantas más cultivadas en el mundo por ser utilizado comercialmente para la elaboración de bebidas caliente y fría para el consumo humano (Muñoz-Pajares et al., 2023). Son dos las especies de café más utilizadas comercialmente, arábica (*Coffea arabica*) y robusta (*Coffea canephora*) (Funlayo et al., 2017).

Varios estudios destacan los efectos positivos del consumo moderado de café, como la regulación de los niveles de azúcar en la sangre, la prevención de enfermedades del sistema circulatorio, del sistema digestivo, de cáncer, enfermedades como el Parkinson y el Alzheimer (Köseo et al., 2014; Kotyczka et al., 2011). Debido a que es una fuente abundante de compuestos con propiedades antioxidantes con elevada capacidad para eliminar radicales libres en el organismo humano (Wei & Tanokura, 2015; Yashin et al., 2013).

La calidad de un buen café, por otro lado, se ha expresado como una experiencia agradable por un conjunto de características como sabor, cuerpo y aroma sin defectos. El sabor sigue siendo el parámetro más importante para el consumidor al momento de cualificar la bebida de café (Mori et al., 2003). De hecho, en busca de bebidas saludables y de alta calidad, los consumidores han elevado la demanda de cafés con excelentes características sensoriales. En diversos países, se organizan concursos regionales, nacionales e internacionales para mejorar la calidad del café y reconocer el esfuerzo de los productores. Un protocolo comúnmente empleado en estos concursos es el de la *Specialty Coffee Association of America* (SCAA), que evalúa once atributos sensoriales para generar una puntuación final y clasificar la bebida. Esta puntuación refleja la percepción individual de los catadores sobre la calidad del café preparado (Lingle & Menon, 2017). Las características antes mencionadas, varían globalmente debido a factores como la genética, ubicación, clima, prácticas agrícolas y procesamiento del café. Aunque hay investigaciones sobre compuestos químicos, la conexión directa entre propiedades sensoriales y compuestos específicos es aún limitada (Sunarharum et al., 2014).

Se ha determinado que durante el tostado más de 900 compuestos orgánicos volátiles (COV) son sintetizados (alcoholes, ácidos, ésteres, aldehídos, cetonas, furanos, etc), contribuyendo al sabor y aroma del café (Várady et al., 2022). Éstos COV desempeñan

funciones importantes en los atributos sensoriales de la bebida final y pueden verse influenciados por la forma en que se procesa el grano (Schieber, 2018).

Por otro lado, durante el cultivo, cosecha, transporte, almacenamiento y procesamiento, el café puede contaminarse con hongos que pueden afectar la calidad y sabor de la bebida (Maman et al., 2021; Viegas et al., 2017). Existen diversos factores que facilitan el desarrollo de los hongos, pero el más importante es la humedad. Según Maman et al. (2021) una humedad de 13% o superior en el grano, es adecuada para el crecimiento de hongos de los géneros *Rhizopus* y *Aspergillus*. Especies de hongos filamentosos, que le pueden conferir características de fermentado, sabor amargo y apariencia sucia a la bebida. Los hongos *Aspergillus parasiticus*, *A. flavus*, *A. nonius*, *A. tamarii* (productores de aflatoxinas) (Moss, 2009), además de *A. nigri*, *A. westerdijkiae* (productores de ocratoxina A), *Fusarium lateritium* y algunas especies de *Penicillium* pueden estar presentes en todas las etapas de procesamiento del café (Iamanaka et al., 2014).

De las micotoxinas de importancia alimenticia, las aflatoxinas (AFLA) son consideradas las más peligrosas y tienen los límites máximos legales establecidos por organismos supranacionales como la Unión Europea, los más bajos para muchos productos básicos. Las AFLA son producidas generalmente por *A. flavus* (temperatura de crecimiento de 16 a 31 °C) y *A. parasiticus* (temperatura de crecimiento de 35 °C) humedad relativa mínima de 18.4% (Paterson et al., 2014). No obstante, las condiciones de crecimiento de los microorganismos generalmente son diferentes de las necesarias para la producción de la micotoxina (Awuchi et al., 2021). La principal micotoxina que se ha encontrado en el café es la ocratoxina A (OTA). La OTA puede afectar la seguridad alimentaria, causando pérdidas económicas considerándose una barrera para el comercio internacional (Maman et al., 2021); asimismo, puede afectar negativamente a la calidad del café por ser considerada potencialmente carcinogénica, nefrotóxica, inmunosupresora y teratogénica para la salud humana (Aguilar-Alvarez et al., 2021).

Hasta el momento, son pocos los trabajos orientados a explorar métodos de esterilización y para inactivar estos microorganismos que pueden infectar naturalmente a los granos en las diferentes etapas de producción y procesamiento del café. Iamanaka et al. (2014) esterilizaron granos de café utilizando radiación gamma para eliminar los hongos. Trabajos más recientes (Davila Garcia, 2023; Guiop Huaman, 2023) evaluaron la posibilidad del uso de autoclavado (esterilización por calor húmedo) para esterilizar el

grano de café. De Brito et al. (2001) estudiaron el efecto del autoclavado en las semillas de cacao antes del tostado, encontrando que este proceso aumentó la cantidad de compuestos volátiles involucrados en el atributo de sabor haciéndolo más agradable y duradero según la prueba sensorial.

En consecuencia, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del autoclavado en los atributos sensoriales y composición volátil del café verde, tostado y de la bebida elaborada con los granos sin autoclavar y los granos autoclavados.

## **II MATERIAL Y MÉTODOS**

### **2.1 Material de estudio**

El café en pergamino, variedad Catimor, fue adquirido del anexo El Ingenio, distrito de Santa Catalina de la provincia de Luya, departamento de Amazonas, Perú.

### **2.2 Lugar de ejecución**

Los ensayos se realizaron en el área de la Clínica Fitopatológica del Laboratorio de Investigación en Sanidad Vegetal (LABISANV). El procesamiento del café y la preparación de la bebida se realizaron en el Laboratorio de Control de Calidad de Café. Los análisis cromatográficos fueron realizados en el Área de Cromatografía de Gases del Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal (FISIOBVEG). Ambos laboratorios pertenecen al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM).

### **2.3 Diseño experimental**

La investigación empleó un diseño factorial 3Ax2B, donde A: etapa del procesamiento (grano verde, grano tostado y bebida de café) y B: tratamiento térmico (sin autoclavado y con autoclavado), para la composición volátil. El análisis sensorial fue realizado con la bebida final de café, bajo un esquema de la bebida preparada de café con y sin tratamiento térmico.

### **2.4 Procedimiento del experimento**

El café en pergamino fue mezclado antes de autoclavar para homogenizar la muestra, se autoclavó 2 kg de café en pergamino en matraces de 1 l colocando 400 g en cada matraz y sellándolo con un tapón de algodón con papel Kraft, el proceso de autoclavado fue a 121 °C y duró 15 min. Los granos autoclavados se llevaron a secar en una incubadora (Incucell, modelo ISIS-B2V/IC55) a 37 °C hasta alcanzar una humedad de 11.8%.

### **2.5 pH del grano de café verde**

El pH fue determinado en el café verde para verificar posibles cambios del grano debido al tratamiento térmico mediante la metodología propuesta por Cortés-Macías et al. (2022)

con algunas modificaciones. Se mezcló 20 g de café verde pilado y molido con 100 ml de agua destilada dejándolo sedimentar por 30 min. El valor del pH se midió por triplicado utilizando un potenciómetro digital (Thermo Scientific, modelo Orion Star A215) (Figura 9 – ANEXOS).

## **2.6 Humedad del grano de café verde**

Para que las condiciones del experimento fueran iguales tanto para los granos de café sin autoclavar y granos autoclavados se determinó el contenido de humedad en donde, los granos con cascarilla fueron introducidos en un medidor de humedad (GEHAKA, modelo G610i) (Figura 9 – ANEXOS), el proceso fue repetido tres veces.

## **2.7 Tostado y molido de los granos de café**

Los granos de café fueron pilados en una piladora mecánica. El grado de tueste empleado fue oscuro (#45 AGTRON/SCAA) a 175 °C, por 9 min, utilizando una tostadora eléctrica de inducción (PROBAT, modelo SR 0116, Alemania). Los granos fueron molidos en un molino de discos (CAFEQUIPOS, modelo JX-600AD) (Figura 10 – ANEXOS).

## **2.8 Elaboración de la bebida**

Se utilizó el método de preparación estándar expreso (FUTURMAT, modelo ARIETE F3) con el que se preparó un “café americano”, que consta de la mezcla de café expreso y agua (1:3) (Angeloni et al., 2019; *Todo sobre el café*, 2019) (Figura 10 – ANEXOS). Para el proceso de extracción se empleó los siguientes parámetros: tueste oscuro, molienda fina, temperatura del agua de 92 °C, presión del agua de 1.3 bar y 30 s de percolación.

## **2.9 Análisis sensorial**

Se realizó el análisis sensorial de la bebida de café mediante dos pruebas, una discriminatoria triangular y una prueba afectiva de aceptación. Ambas pruebas se realizaron a 60 panelistas (no entrenados). Ellos endulzaron de acuerdo a su preferencia, utilizando sacarosa.

Los materiales empleados para las dos pruebas fueron: vasos cerámicos de 150 ml, un agitador de madera, papel libre de olores y un vaso biodegradable (Figura 11 - ANEXOS).

Las catas se realizaron en una sala iluminada y ventilada, sin olores, ni ruidos. A cada panelista se le dio una galleta soda y agua mineral tibia en un vaso para que se enjuaguen la boca antes y después de cada muestra.

La prueba discriminativa triangular se realizó mediante la metodología utilizada por Muñoz et al. (2020) que consistió en evaluar tres muestras codificadas. El catador debió indicar cuál es la muestra diferente. Los panelistas recibieron un conjunto de 3 muestras: dos idénticas y una diferente (los panelistas fueron informados sobre esta disposición) (Figura 12 - ANEXOS). Los vasos que contenían las muestras de café se codificaron uniformemente utilizando combinaciones de 3 dígitos que se eligieron al azar para cada prueba. Se entregó un formulario (Figura 1) a cada panelista en donde se indicó el proceso de evaluación.

### Figura 1

*Hoja de respuesta para el análisis triangular*

PRUEBA TRIANGULAR		
<b>Ocupación:</b> _____	<b>Edad:</b> _____	<b>Sexo:</b> _____
<b>INDICACIÓN:</b> Dos de las muestras presentadas son idénticas. Escriba los códigos en cada línea, pruebe las muestras de izquierda a derecha e indique marcando con una "X", la muestra que le parezca diferente. Enjuáguese la boca después de probar cada muestra y espere 30 segundos.		
_____	_____	_____
<b>Comentarios:</b> _____		
_____		

Para la prueba afectiva se empleó la metodología propuesta por Muñoz et al. (2020) con algunas modificaciones. Se utilizó una escala hedónica de 9 puntos, evaluando 4 atributos por separado: color, aroma, sabor e impresión general. Se presentaron dos muestras codificadas al azar a cada consumidor (Figura 12 - ANEXOS). Se entregó un formulario (Figura 2) a cada panelista en donde cada atributo mencionado fue calificado.

## Figura 2

### *Hoja de respuesta para el análisis de aceptación*

PRUEBA DE ACEPTACIÓN		
Ocupación: _____	Edad: _____	Sexo: _____
<b>INDICACIÓN:</b> Califique cada muestra utilizando la escala a continuación para describir cuanto le gustó o no le gustó el café en términos de sus 4 atributos: color, aroma, sabor e impresión general.		
1.- No me gusta muchísimo 2.- No me gusta mucho 3.- No me gusta moderadamente 4.- No me gusta un poco 5.- Ni me gusta ni me disgusta 6.- Me gusta un poco 7.- Me gusta moderadamente 8.- Me gusta mucho 9.- Me gusta muchísimo		
Código de muestra: _____	Código de muestra: _____	
Color _____	Color _____	
Aroma _____	Aroma _____	
Sabor _____	Sabor _____	
Impresión general _____	Impresión general _____	
Comentarios: Por favor escriba lo que le gustó o no le gustó de la muestra de café		
No me gusta: _____		
Me gusta: _____		

## 2.10 Análisis cromatográficos por SPME/GC-MS para determinación del perfil de COV en los granos de café verde

Los granos de café verde fueron previamente congelados con nitrógeno líquido para luego ser triturados en un molinillo (Bosch, modelo TSM6A013B). El tamaño de partícula fue estandarizado pasándolos por un tamiz con abertura de  $0.94 \pm 0.003$  mm (promedio  $\pm$  error estándar). Luego, 2 g fueron colocados en un vial (20 ml) y sellado herméticamente con una tapa de aluminio y septa de PTFE/silicona. Los volátiles fueron extraídos utilizando una fibra de Divinilbenceno/Carboxen/Polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS) por la técnica de microextracción en fase sólida (SPME). Después de 15 min de equilibrio se extrajo los COV del espacio de cabeza por 45 min en un termobloque digital (VWR, modelo No. 949VWHB2EUA) a 50 °C (Figura 14 - ANEXOS). En seguida, se retiró la fibra del vial y se insertó en el puerto de inyección del sistema de cromatografía de gases (7890B GC System y 5977B MSD, Agilent Technologies®). El tiempo de desorción térmica fue de 5 min a 250 °C en modo splitless (Zhang et al., 2022). Los COV extraídos se transfirieron a una columna capilar DB-5MS UI ( $60 \text{ m} \times 250 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ ) para su separación utilizando helio como gas de arrastre con un flujo de  $1.2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ . El horno fue programado a 40 °C durante 2 min, subió  $3 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  hasta alcanzar 220 °C, luego llegó a 240 °C a una tasa de  $5 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  y se mantuvo a 240 °C por 5 min. La fuente de iones y el detector de masas estuvo a 280 °C y 150 °C,



respectivamente. Se utilizó una corriente iónica total (70 eV) en un rango de masa de 35 a 350 amu (unidad atómica de masa) con modo scan. Los análisis se realizaron por triplicado.

### **2.11 Análisis cromatográficos por SPME/GC-MS para determinación del perfil de COV en los granos de café tostados**

Los granos de café tostados fueron molidos con un molino (Cafequipos, modelo JX-600AD). Dos gramos fueron depositados en un vial (20 ml) que fue sellado herméticamente con una tapa de aluminio y septa de PTFE / silicona. Las condiciones de extracción y análisis fueron idénticas a las enumeradas en el punto 2.9.

### **2.12 Análisis cromatográficos por SPME/GC-MS para determinación del perfil de COV en la bebida de café**

Para la determinación de los COV de la bebida de café, se utilizó el método de preparación espresso, donde 4.5 ml de la bebida fueron transferidos a un vial (20 ml). Se realizó la microextracción con el mismo tipo de fibra utilizado para el café verde y tostado, con un tiempo de extracción de 5 min a 50 °C (Carcea et al., 2023), antes de que pudiera ocurrir cambios significativos en el perfil de COV de la bebida por la variación de la temperatura.

### **2.13 Identificación de los COV**

Se compararon los espectros de masas con la Biblioteca NIST 17 para identificar los COV. El índice de retención de cada compuesto fue calculado utilizando el estándar de hidrocarburos (C<sub>8</sub>-C<sub>20</sub>) para confirmar la identidad de cada uno de ellos.

### **2.14 Análisis de datos**

Se realizó una prueba t-Student para comparar el pH de los granos de café sin autoclavar con los autoclavados, así como para cada COV entre el grano verde, el café tostado y la bebida sin autoclavar y autoclavada. Esto fue realizado después de confirmar el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad. Para los COV que no cumplieron los supuestos, aún después de realizar una transformación de los datos, se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon. Los datos fueron procesados en el software R (R Development Core Team, 2020).

Para los datos de la prueba sensorial triangular se utilizó la tabla propuesta por Zenebon et al. (2008).

**Tabla 1**

*Prueba triangular (unilateral,  $p = 1/3$ ). Número mínimo de evaluadores correctos para establecer significancias a varios niveles de probabilidades*

Nº total de evaluadores	Nivel de probabilidades ( $\alpha$ )						
	5%	4%	3%	2%	1%	0.5%	0.1%
5	4	5	5	5	5	5	-
10	7	7	7	7	8	8	9
20	11	11	12	12	13	13	14
30	15	16	16	16	17	18	19
40	19	20	20	21	21	22	24
50	23	24	24	25	26	26	28
60	27	27	28	29	30	31	33

*Nota.* Adaptado de Zenebon et al. (2008).

Los datos de la prueba sensorial afectiva fueron tabulados y se presentan en diagrama radial. Para determinar las diferencias estadísticas entre tratamientos y por atributo, se empleó la prueba de rangos de Wilcoxon utilizando el software estadístico SPSS V.26.

### III RESULTADOS

#### 3.1 Características fisicoquímicas de los granos de café autoclavados y sin autoclavar

La humedad final de los granos de café con y sin tratamiento fue de 11.8%. El pH de los granos verdes sin autoclavar y autoclavados no presentaron diferencia estadísticamente significativa. Los resultados de ambos análisis pueden ser observados en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Humedad y pH del café verde sin y con autoclavado*

	<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio ± Desviación estándar</b>
<b>Porcentaje de humedad</b>	CSA	11.8 ± 0.000
	CA	11.8 ± 0.000
<b>pH</b>	CSA	5.95 ± 0.017
	CA	5.98 ± 0.010

*Nota.* Café sin autoclavar (CSA), café autoclavado (CA).

#### 3.2 Aspectos visuales

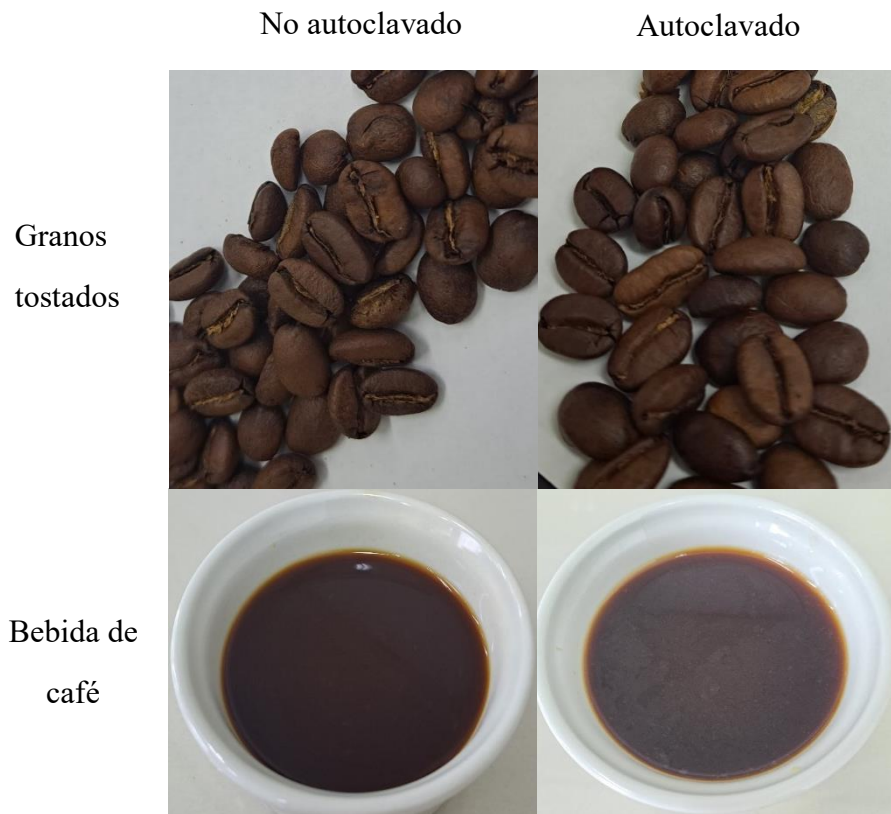
En la Figura 3 se observan los granos tostados sin y con autoclavado, del mismo modo para la bebida de café utilizada en el análisis sensorial que fue elaborada por el método americano. En la imagen se pone en evidencia la uniformidad de las condiciones que fueron sometidos en ambos tratamientos. Aunque en la figura no se consigue apreciar el brillo presente en el café autoclavado, durante la ejecución del experimento fue posible notar esa diferencia entre los tratamientos, tanto a nivel de grano como de la bebida, siendo mayor este brillo en el tratamiento del autoclavado.

#### 3.3 Análisis sensorial de la bebida de café

Con el fin de evaluar la las diferencias y la aceptación sensorial considerando los cambios generados por el proceso de autoclavado, las bebidas de café elaboradas con café sin autoclavar y con café autoclavado fueron sometidas a dos tipos diferentes de análisis sensorial, una prueba discriminatoria y una prueba afectiva.

### Figura 3

*Aspectos visuales comparativos en el café sin autoclavar y autoclavado*



#### 3.3.1 Prueba triangular (discriminatoria)

La prueba triangular fue utilizada para detectar diferencias entre muestras. Siendo el número de evaluaciones correctas (41) mayor al valor de la Tabla 1 para 60 evaluaciones. Los resultados indican que existe diferencia significativa entre las muestras en el nivel de probabilidad de 0.001.

#### 3.3.2 Prueba de aceptación (afectiva)

Aunque no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos (sin autoclavar y autoclavado) (Tabla 3), se evidencia que al menos tres atributos (color, aroma e impresión general) del café autoclavado fueron ligeramente superiores al café sin autoclavar. Por el contrario, el café sin autoclavar presentó una tendencia levemente positiva en el sabor (Figura 4).

**Tabla 3**

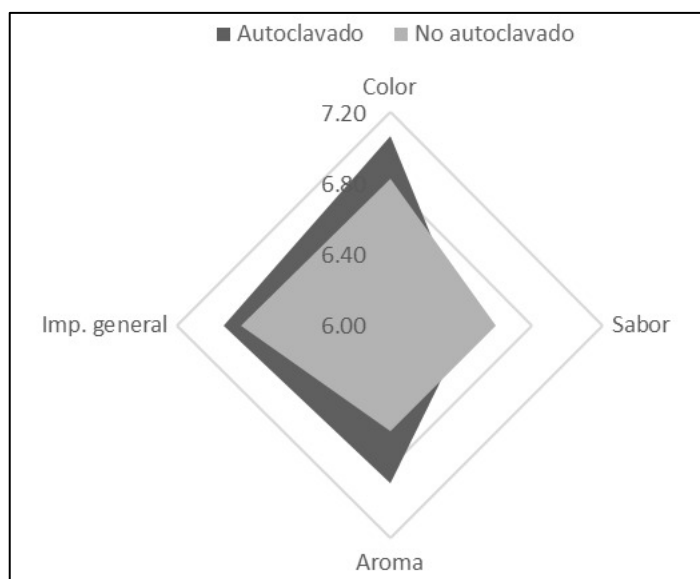
*Prueba de rangos con signo de Wilcoxon*

Atributo	Significancia
Color	0.341
Aroma	0.087
Sabor	0.549
Impresión general	0.611

*Nota.* Se muestran significancias asintóticas. El nivel de significación es de 0.05.

**Figura 4**

*Resultados de la prueba sensorial de aceptación*



### 3.4 Compuestos orgánicos volátiles (COV) por SPME/GC-MS

En la Tabla 4 están listados los 83 COV identificados en las muestras de café (verde, tostado y bebida) evaluadas. Los cuales fueron clasificados según sus grupos funcionales siendo ellos: ácidos (3), alcoholes (10), aldehídos (11), cetonas (9), ésteres (4), fenoles (5), furanos (10), hidrocarburos (7), pirazinas (14), piridina (1), pirroles (4) terpeno (1) y otros (4).

#### 3.4.1 COV del café verde sin y con autoclavado

Fueron detectados 30 COV en el grano de café verde de los cuales 18 estuvieron presentes en la muestra no autoclavada, 26 en la muestra autoclavada y 14 en ambos tratamientos.

Al comparar los compuestos identificados entre los tratamientos sin autoclavar y autoclavado, 16 COV (ácido acético, ácido 4-hidroxibutanoico, alcohol furfurílico, hexanal, furfural, benzaldehído, octanal, fenilacetaldehído, heptanal, isovalerato de etilo, 3,5-dimetilfenol, 2-pentilfurano, propilbenceno, etilbencena, 2,2,3,4-tetrametilpentano, 4-etiltolueno) presentaron diferencia estadísticamente significativa ( $p$ -valor < 0.05). Los gráficos de caja y bigote de los COV en el grano de café verde pueden ser evidenciados en la Figura 5 (ANEXOS).

### **3.4.2 COV del café tostado sin y con autoclavado**

Cuarenta y tres COV fueron identificados en el grano de café tostado de los cuales 39 fueron detectados en el café tostado no autoclavado, 40 en el café tostado autoclavado y 36 en ambos tratamientos. Al comparar los tratamientos, 5 COV (hidroxicetona, furil hidroximetil cetona, 2-metoxi-4-vinilfenol, 5-etenil-2-metoxifenol, 2-metiltetrahidrotiofen-3-ona) presentaron diferencia estadísticamente significativa. Los gráficos de caja y bigote de los COV en el grano de café tostados pueden ser evidenciados en la Figura 6 (ANEXOS).

### **3.4.3 COV de la bebida de café elaborada con café sin y con autoclavado**

Treinta y tres COV fueron identificados en la bebida de café y en ambos tratamientos. Al comparar los tratamientos, 10 COV (2,3-hexanodiona, acetato de furfurilo, formiato de furfurilo, guayacol, 2-acetilfurano, 2,2'-metilenbis-furano, sulfuro de furfurilmetilo, 1-metilpirrol, pirrol, 1-furfurilpirrol) presentaron diferencia estadísticamente significativa. Los gráficos de caja y bigote de los COV detectados en la bebida de café pueden ser evidenciados en la Figura 7 (ANEXOS)

**Tabla 4**

*Composición de la fracción volátil en los cafés con y sin tratamiento*

Compuesto Orgánico Volátil (COV)	IR <sub>calc</sub>	IR <sub>lit</sub>	Tratamientos						Descripción sensorial	Referencia de la descripción sensorial
			Café Verde		Café Tostado		Bebida de Café			
			Sin autoclavar	Autoclavado	Sin autoclavar	Autoclavado	Con granos sin autoclavar	Con granos autoclavados		
<b>Ácidos</b>										
Ácido acético	631	610	6430781.57*	24625870.24*	ND	ND	ND	ND	Fuerte, picante	(Bonvehí, 2005)
Ácido 2-metilbutanoico	567	861	ND	2575726.82	ND	ND	ND	ND	Acre-ácido como a queso, afrutado	(Arcander, 2000)
Ácido 4-hidroxi-butanoico	927	933	ND*	1964912.99*	26709115.44	16986352.93	ND	ND	-	-
<b>Alcoholes</b>										
Alcohol isoamílico	751	736	11063864.14	8491818.77	ND	ND	ND	ND	Maltoso, chocolate	(Rodríguez-Campos et al., 2012)
2-Metil-1-butanol	755	739	6650907.25	5076334	ND	ND	ND	ND	Afrutado, uva	(Ramos et al., 2014)
3-Metil-2-buten-1-OL	788	775	ND	6705610.37	ND	ND	ND	ND	Vinoso, ligeramente afrutado, verde	(Arcander, 2000)
2,3-butanodiol	793	788	4881482.82	5710857.66	ND	ND	ND	ND	Afrutado, cremoso, mantecoso	(Heitmann et al., 2017)
1-Hexanol	882	868	5652656.75	4403751.59	ND	ND	ND	ND	Afrutado, verde, herbáceo.	(Bressani et al., 2018)
1-Pentanol	781	765	2886933.46	ND	ND	ND	ND	ND	Dulce, quemado	(Burdock & Fenaroli, 2010)
Alcohol feniletílico	1137	1116	1955909.85	4187407.56	ND	ND	ND	ND	Parecido a la miel de rosas	(Arcander, 2000)
Alcohol furfúrico	866	859	ND*	970469.99*	281697742.2	406317417.2	61581384.36	69841507.33	Fermentado, quemado, acaramelado	(Bressani et al., 2018)
Maltol	1133	1110	ND	ND	31146195.52	37453023.04	ND	ND	Dulce, afrutado, acaramelado	(Arcander, 2000)
Isomaltol	998	985	ND	ND	2298568.37	2335032.92	ND	ND	-	-
<b>Aldehídos</b>										
Hexanal	816	800	8172222.72*	11698565.07*	ND	ND	ND	ND	Afrutado	(Ramos et al., 2014)
Furfural	849	833	ND*	8489361.3*	ND	ND	73277056.19	75769957	Dulce, amaderado, fragante, almendrado.	(Bonvehí, 2005)

Compuesto Orgánico Volátil (COV)	IR <sub>calc</sub>	IR <sub>fit</sub>	Tratamientos						Descripción sensorial	Referencia de la descripción sensorial
			Café Verde		Café Tostado		Bebida de Café			
			Sin autoclavar	Autoclavado	Sin autoclavar	Autoclavado	Con granos sin autoclavar	Con granos autoclavados		
Benzaldehído	987	962	ND*	3445919.58*	ND	ND	ND	ND	Amarga	(Bonvehí, 2005)
Octanal	1019	1003	ND*	1788312.56*	ND	ND	ND	ND	Como naranja	(López-Galilea et al., 2006)
Fenilacetaldehído	1069	1045	ND*	1940054.68*	5724596.63	4580405.64	1932361.24	2756593.72	Dulce-afrutado	(Akiyama et al., 2007)
Heptanal	918	901	ND*	2240041.76*	ND	ND	ND	ND	Almendrado, nuez, fruta fermentada	(Arctander, 2000)
Nonanal	1121	1104	1796175.17	2987078.67	ND	ND	ND	ND	Picante, verde	(Erten & Cadwallader, 2017)
1-Metilpirrol-2-carboxaldehído	1027	1016	ND	ND	15784380.31	14040473.66	3960401.99	5528626.64	-	-
Isovaleraldehído	685	652	ND	ND	ND	ND	13465527.05	11401300.14	Maltoso, chocolate	(Rodríguez-Campos et al., 2012)
2-Metilbutiraldehído	693	662	ND	ND	ND	ND	22651915.58	19552666.04	Maltoso, chocolate	(Rodríguez-Campos et al., 2012)
5-Metilfurfural	980	965	ND	ND	ND	ND	46579187.72	57684815.08	Caramelo	(Bressani et al., 2018)
<b>Cetonas</b>										
3-Metilciclopentano-1,2-diona	1043	1043	ND	ND	26865092.01	24405943.8	ND	ND	Como caramelo	(Pino, 2014)
1-Hidroxibutan-2-ona	521	798	ND	ND	5866912.34	4481704.16	ND	ND	Olor a tostado	(Bressani et al., 2018)
2,3-Pentanodiona	716	698	ND	ND	16639980.34	9313566.63	18087077.81	16922210.8	Amarga	(Bonvehí, 2005)
Acetoxiacetona	877	870	ND	ND	56341936.16	55924376.86	3973389.67	4796507.65	Afrutado-mantecoso, como mantequilla y vinagre	(Arctander, 2000)
Hidroxiacetona	688	665	ND	ND	49687117.51*	37602615.4*	ND	ND	Olor picante, dulce acaramelado	(Bressani et al., 2018)
Furil hidroximetil cetona	1104	1087	ND	ND	4956446.3*	ND*	ND	ND	-	-
2-Ciclopenten-1-ona, 2-hidroxi-3,4-dimetil-	1071	1075	ND	ND	4158353.32	4382181.24	ND	ND	-	-
2,3-Hexanodiona	799	786	ND	ND	ND	ND	3163281.29*	4312562.8*	Mantecoso y a queso, medio ácido	(Arctander, 2000)
3,4-Hexanodiona	814	800	ND	ND	ND	ND	2499500.47	2706122.49	Acre a mantequilla	(Arctander, 2000)
<b>Ésteres</b>										
Acetato de 2-oxobutil	974	967	ND	ND	16288841.31	13540631.74	ND	ND	Café	(Flament, 2001)



Compuesto Orgánico Volátil (COV)	IR <sub>calc</sub>	IR <sub>lit</sub>	Tratamientos						Descripción sensorial	Referencia de la descripción sensorial
			Café Verde		Café Tostado		Bebida de Café			
			Sin autoclavar	Autoclavado	Sin autoclavar	Autoclavado	Con granos sin autoclavar	Con granos autoclavados		
Acetato de furfurilo	1005	995	ND	ND	89378262.48	82762003.09	51392695.25*	79506299.32*	Afrutado, parcialmente herbáceo	(Arctander, 2000)
Isovalerato de etilo	867	854	2518921.3*	3009701.6*	ND	ND	ND	ND	Afrutado, amaderado	(Flament, 2001)
Formiato de furfurilo	920	902	ND	ND	16846330.4	16200007.02	12272780.03*	18404526.55*	Floral	(Bressani et al., 2018)
<b>Fenoles</b>										
3,5-Dimetilfenol	951	1171	ND*	1559489.02*	ND	ND	ND	ND	Dulce	(Ha & Lindsay, 1991)
2-Metoxi-4-vinilfenol	1336	1317	ND	ND	18230183.31*	ND*	3456849.44	4903100.12	Parecido al clavo	(Arctander, 2000)
Guayacol	1108	1090	ND	ND	11273053.45	12236672.17	1642678.49*	3392581.93*	Dulce, fenólico	(Burdock & Fenaroli, 2010)
4-Etil-2-metoxifenol	1298	1282	ND	ND	2641646.43	4049353.56	ND	ND	Picante, parecida a un clavo	(Poisson et al., 2017)
5-Etenil-2-metoxifenol	1336	1337	ND	ND	ND*	23995730.49*	1828485.67	4917517.26	Ahumada, clavo, dulce, vainilla.	(Schranz et al., 2017)
<b>Furanos</b>										
2-Pentilfurano	1008	993	ND*	4740118.5*	ND	ND	ND	ND	Terroso, mohoso, aceitoso	(Flament, 2001)
Anhídrido 2,3-dimetilmaleico	1049	1038	ND	ND	5554608.38	6065455.29	ND	ND	-	-
Xi-3,5-dimetil-2(5H)-furanona	1014	993	ND	ND	3191551.17	4808512.9	ND	ND	-	-
2-Metiltetrahidrofuran-3-ona	824	809	ND	ND	28148554.12	18519791.4	ND	ND	Graso, oleoso	(Burdock & Fenaroli, 2010)
2-Acetilfurano	928	911	ND	ND	55821502.63	39089838.87	12989314.16*	15545971.31*	Dulce, balsámico, cacao, ligeramente café.	(Bonvehí, 2005)
2,2'-Metilenbis-furano	1100	1088	ND	ND	5500301.16	7105692.38	2858323.32*	5213760.94*	Caramelo	(Flament, 2001)
5-Hidroximetilfurfural	824	1233	ND	ND	ND	2720080.76	ND	ND	-	-
2,5-Dimetilfurano	726	707	ND	ND	ND	ND	3085075.15	3647113.14	Ahumado, picante	(Burdock & Fenaroli, 2010)
2-Etenil-furano	744	725	ND	ND	ND	ND	3538922.49	4786759.02	-	-
Sulfuro de furfuralmetilo	1021	995	ND	ND	ND	ND	3504576.3*	6210728.97*	Picante, como cebolla y ajo, café	(Burdock & Fenaroli, 2010)
<b>Hidrocarburos</b>										
Propilbenceno	978	953	1604615.41*	ND*	ND	ND	ND	ND	-	-
Etilbencina	884	855	8052701.61*	2726737.52*	ND	ND	ND	ND	-	-

Compuesto Orgánico Volátil (COV)	IR <sub>calc</sub>	IR <sub>lit</sub>	Tratamientos						Descripción sensorial	Referencia de la descripción sensorial
			Café Verde		Café Tostado		Bebida de Café			
			Sin autoclavar	Autoclavado	Sin autoclavar	Autoclavado	Con granos sin autoclavar	Con granos autoclavados		
Estireno	915	893	30122183.6	12524832.04	ND	ND	ND	ND	Dulce, balsámico, casi floral	(Burdock & Fenaroli, 2010)
2,2,3,4-Tetrametilpentano	916	821	ND*	731560.81*	ND	ND	ND	ND	-	-
Tolueno	789	763	5679205.87	4876477.89	ND	ND	ND	ND	-	-
Nonano	916	900	692058.51	ND	ND	ND	ND	ND	-	-
4-Etiltolueno	947	954	2432632.55*	ND*	ND	ND	ND	ND	-	-
<b>Pirazina</b>										
2-isobutil-3-metoxipirazina	1196	1183	2043896.02	3597795.61	ND	ND	ND	ND	Aceitoso	(Flament, 2001)
2-Acetil-5-metilpirazina	1135	1130	ND	ND	7392732.15	5954308.43	ND	ND	Como maiz	(Flament, 2001)
Pirazina	753	736	ND	ND	9403766.36	7125823.72	ND	ND	Picante, dulce	(Bonvehí, 2005)
2,3-Dimetilpirazina	938	926	ND	ND	17575946.79	13438326.05	ND	ND	Caramelo, cocoa	(Bonvehí, 2005)
2,5-Dimetilpirazina	931	917	ND	ND	ND	ND	14970546.13	18571347.37	Cacao, nueces tostadas	(Bonvehí, 2005)
2,6-Dietilpirazina	1102	1084	ND	ND	4595018.61	4130235.66	ND	ND	Avellana	(Flament, 2001)
2-Etil-6-metilpirazina	1016	1003	ND	ND	46429968.96	36787947.6	6733915.77	8482731.78	Avellana	(Flament, 2001)
3,5-Dietil-2-metilpirazina	1174	1162	ND	ND	5726027.15	5927402.36	ND	ND	Nuez, dulce afrutado	(Burdock & Fenaroli, 2010)
3-Etil-2,5-dimetilpirazina	1096	1082	ND	ND	35147706.64	30985087.28	4376611.11	3501320.23	Avellana	(Flament, 2001)
2-Etilpirazina	936	921	ND	ND	35490909.58	27061464.77	7016177.66	9079991.89	Mantequilla de maní, mohosa y nuez	(Bonvehí, 2005)
2-Metilpirazina	842	831	ND	ND	121621005.1	87041417.89	16944185.68	20627907.58	Nuez, cacao, chocolate, nueces tostadas	(Bonvehí, 2005)
2,3,5-Trimetilpirazina	1021	1004	ND	ND	37337209.24	28849818.02	ND	ND	Nueces tostadas	(Burdock & Fenaroli, 2010)
5-Metil-6,7-dihidro-5H-ciclopenta[b]pirazina	779	1149	ND	ND	ND	4272739.56	ND	ND	Maní, tostado	(Burdock & Fenaroli, 2010)
2,6-Dimetilpirazina	1102	1084	ND	ND	ND	75110944.85	ND	ND	Dulce	(Arctander, 2000)
<b>Piridina</b>										
Piridina	762	746	ND	ND	46959320.34	46440409.78	7307112.22	11456903.83	Acre, ahumado	(Bressani et al., 2018)
<b>Pirrol</b>										

Compuesto Orgánico Volátil (COV)	IR <sub>calc</sub>	IR <sub>lit</sub>	Tratamientos						Descripción sensorial	Referencia de la descripción sensorial
			Café Verde		Café Tostado		Bebida de Café			
			Sin autoclavar	Autoclavado	Sin autoclavar	Autoclavado	Con granos sin autoclavar	Con granos autoclavados		
2-Acetilpirrol	1080	1064	ND	ND	18507629.31	20308832.44	1480070.63	1760145.17	Pan, nuez, regaliz	(Bonvehí, 2005)
1-Metilpirrol	757	743	ND	ND	ND	ND	5758402.07*	7906605.01*	Dulce, amaderado-herbáceo.	(Arcander, 2000)
Pirrol	766	755	ND	ND	ND	ND	579012.92*	3235896.38*	Nuez, dulce	(Bonvehí, 2005)
1-Furfurilpirrol	1201	1187	ND	ND	ND	ND	5776717.88*	8921685.24*	Verde, vegetal	(Burdock & Fenaroli, 2010)
<b>Terpenos</b>										
(+)-Limoneno	1055	1018	11336148.21	8581969.83	ND	ND	ND	ND	Cítrico fresco, dulce	(Bonvehí, 2005)
<b>Otros</b>										
Disulfuro de dimetilo	767	746	ND	ND	ND	ND	2336656.91	1144638.51	Parecido a cebolla	(Bonvehí, 2005)
2-Metiltetrahidrotiofen-3-ona	1015	996	ND	ND	1630857.99*	ND*	ND	ND	Como a baya	(Pua et al., 2020)
1-Amino-1H-pirrol-2,5-diona	963	1217	ND	ND	15950322.04	12654516.51	ND	ND	-	-
8-Oxabiciclo[3.2.1]oct-6-en-3-ona	968	1004	ND	ND	5020704.89	3840802.34	2012117.34	4059243.75	-	-

*Nota.* IR<sub>calc</sub> e IR<sub>lit</sub> son los índices de retención calculado y de la literatura.

ND: no detectado

Los asteriscos (\*) indican diferencias estadísticamente significativas ( $p$ -valor < 0.05) de los compuestos entre los tratamientos (café verde sin autoclavar y autoclavado, o café tostado sin autoclavar y autoclavado o de la bebida elaborada con café sin autoclavar y autoclavado).

#### IV DISCUSIÓN

En el presente trabajo se utilizó granos de café sin autoclavar y autoclavados con el fin de evaluar las características sensoriales y químicas de la bebida. La bebida de café es altamente consumida en todo el mundo y su aceptación depende de su calidad que está relacionada con sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales (Febrianto & Zhu, 2023), dentro de estas propiedades el pH es un factor que influye en su sabor. En este trabajo se obtuvieron medias de pH de 5.95 y 5.98 para granos sin autoclavar y para granos autoclavados, respectivamente. El pH de la muestra de café autoclavado no fue afectado a pesar del autoclavado. Valores semejantes de pH fueron reportados en cafés con defectos (Mazzafera, 1999). Sin embargo, en otro trabajo no se encontró diferencias significativas en el pH de café con defectos comparado con el de buena calidad (Ramalakshmi et al., 2007), no pudiendo ser utilizado como un parámetro único para determinar la calidad del café.

La humedad es otra propiedad fisicoquímica importante que afecta a la calidad del café, siendo considerados óptimos, valores entre 9 y 12% (Rotta et al., 2021). La humedad debe ser mantenida por debajo del 14% durante el procesamiento y almacenamiento, principalmente para no haber el desarrollo de hongos y la producción de micotoxinas, en el caso de que haya presencia de hongos toxigénicos (Levi et al., 1974), como *Aspergillus westerdijkiae*, *Penicillium verrucosum*, entre otros hongos productores de ocratoxina A (OTA) (Gaslac Culqui, 2022). El café autoclavado fue secado hasta alcanzar el mismo porcentaje de humedad del café sin autoclavar (11.8%) para trabajar con condiciones semejantes. Según Gautz et al. (2008), un contenido de humedad por debajo del 9% hará que el grano se encoja lo suficiente como para deformarse y ponerse frágil, resultando en la apariencia de un café de calidad inferior, mientras que la humedad del grano por encima del 12% es propicio para el desarrollo de hongos, micotoxinas y/o sabores desagradables (Donovan et al., 2019; Iamanaka et al., 2014). Este resultado demuestra que el secado en incubadora a 37 °C puede corregir la humedad que el grano adquiere al ser sometido a la esterilización húmeda (autoclavado), no pareciendo ser un factor considerado en las diferencias encontradas en los análisis sensoriales y de compuestos orgánicos volátiles (COV).

A pesar de no haber encontrado diferencia estadísticamente significativa para los resultados de pH y, el contenido de humedad haber sido mantenido igual al del café sin

autoclavar, los catadores (64%) de la prueba triangular pudieron percibir la diferencia existente entre las bebidas, como también en el trabajo descrito por Murakami et al. (2010), quienes evaluaron sensorialmente la bebida de café elaborada con café esterilizado también por autoclavado y no esterilizada, en donde el 76% de los catadores encontraron el café diferente.

En la prueba afectiva, aunque no hubo diferencia estadísticamente significativa, tres atributos (color, aroma e impresión general) del café autoclavado fueron ligeramente superiores al café sin autoclavar según los promedios. En general, las puntuaciones medias oscilaron entre 6 y 7 (“me gusta un poco” y “me gusta moderadamente”, respectivamente) en la escala hedónica. En el atributo de sabor los catadores encontraron ligeramente más agradable al café no autoclavado con una puntuación media de 7 (“me gusta moderadamente”).

En el caso del color, los catadores mencionaron encontrar signos de grasa en la superficie de la bebida del café autoclavado. Esta presencia de grasa en la superficie de la bebida elaborada con granos autoclavados podría deberse a la alta temperatura del autoclavado (121 °C), además de la temperatura de tostado (175 °C), a que los granos de café fueron sometidos. Durante el tostado, los cambios de temperatura y, como consecuencia, la formación de vapor y la pérdida de agua, modifican la estructura del grano de café, propiciando la producción de un volumen acumulativo de poros y microporos de mayor diámetro en las paredes celulares. Eso aumenta la migración de gas y de aceite, al mismo tiempo que facilita la accesibilidad al oxígeno y aceleran la pérdida de compuestos de sabor (Schenker et al., 2000) y, con el autoclavado y el secado (37 °C), además del tostado, este proceso puede haber sido intensificado.

Una comparación entre dos formas diferentes de procesamiento para el tostado del café fue propuesto por Lee et al. (2017). A pesar de que la investigación concluye no haber encontrado diferencias estadísticamente significativas en el contenido de humedad, pH y COV entre el molido después del tostado (proceso convencional) y el molido antes del tostado (proceso reverso), en la metodología describen la necesidad del autoclavado como un pretratamiento para el proceso reverso después de pruebas preliminares en las cuales encontraron que el perfil de COV fue afectado negativamente. En este sentido, el autoclavado podría ser utilizado como tratamiento postcosecha para inactivar microorganismos que pueden infectar los granos de café durante el cultivo o

procesamiento, al igual que Kumar et al. (2012) quienes trataron con radiación gamma a los granos de café verde para inactivar hongos toxigénicos, así como para destruir la ocratoxina A (OTA) preformada viendo resultados positivos ya que también no afectaba a los atributos sensoriales del café.

Dieciseis COV presentaron diferencias estadísticamente significativas en el grano de café verde siendo ellos clasificados en 7 grupos (ácidos, alcoholes, aldehídos, ésteres, fenoles, furanos e hidrocarburos). Dentro de los ácidos, el ácido acético que fue detectado en mayor concentración en el café verde autoclavado, el cual podría deberse a que el ácido acético aumenta proporcionalmente con el nivel de tueste, incluso con el tueste ligero ya que se encuentra naturalmente en los granos de café verde (Yeager et al., 2023). Bertrand et al. (2012) encontraron que el ácido acético, entre otros compuestos, mostraban correlaciones positivas significativas con el atributo indeseable terroso, lo que sugiere que, si bien no estaban directamente relacionados con los sabores desagradables, al menos actuaban como indicadores importantes de los mismos. El otro ácido detectado en los granos verdes fue el ácido 4-hidroxitanoico encontrado solamente en el café autoclavado. Según Flament (2001), el ácido 4-hidroxitanoico está presente en bajas concentraciones (2-5 ppm) en cafés verdes y aumenta con el tostado hasta 20 ppm. Otros trabajos (Chiriboga et al., 2022; Farag et al., 2019) también reportaron la presencia del ácido 4-hidroxitanoico en cafés tostados. El incremento del ácido acético y la detección del ácido 4-hidroxitanoico en el café autoclavado cuando comparados al café no autoclavado podría estar relacionado a la temperatura aplicada durante el tratamiento térmico que fue sometido los granos de café autoclavados, una vez que el tueste está asociado al aumento de estos ácidos en el café. Dentro del grupo de los alcoholes, el alcohol furfúrico fue encontrado solamente en el café verde autoclavado lo que podría deberse a la degradación de carbohidratos y azúcares, como las hexosas y pentosas (Gianturco et al., 1964). Flament (2001) correlacionó la presencia de este alcohol con la nota indeseable amarga quemada de los cafés tostados oscuros por lo que se debe evitar su contenido alto. No obstante, Caporaso et al. (2018) relacionan este compuesto con el aroma a caramelo de los granos de café tostados. En el grupo de los aldehídos, el hexanal estuvo presente en ambos tratamientos pero fue encontrado en mayor concentración en el café verde autoclavado, siendo correlacionado con cafés ácidos, negros, dañados por insectos (Toci & Farah, 2008) y verdes inmaduros (Santos & Rodrigues, 2020). El hexanal y otros aldehídos son formados por la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados

puediendo generar un sabor a rancio en el café (Toledo et al., 2016),. Esta oxidación puede darse debido a una alta humedad, a una atmósfera oxidante y a altas temperaturas que afectan la fracción aromática del café. En el presente trabajo esta mayor oxidación pudo haberse presentado al someter el café al autoclavado, que es un proceso de esterilización donde se aumenta la humedad por la utilización de vapor de agua y, generalmente, temperaturas de 121 °C. El furfural, el benzaldehído, el octanal, el fenilacetaldehído y el heptanal son aldehídos que fueron identificados solamente en el café verde autoclavado. El furfural es formado a partir del arabinogalactano que es susceptible a la degradación térmica (Spiller, 1998; Redgwell et al., 2002). Según De Maria et al. (1994), el tostado promueve la pérdida de residuos de arabinosa de arabinogalactano que origina el furfural, siendo posible que esta degradación haya sido intensificada por el autoclavado. El benzaldehído es un compuesto que aumenta levemente con la temperatura (Flament, 2001), explicando porque no se detectó en el café verde sin autoclavar, pero si en el café verde autoclavado. El octanal es un compuesto que se desarrolla durante el tostado del café y atribuye notas como a naranja (López-Galilea et al., 2006). El fenilacetaldehído es un aldehído de Strecker que confiere olores semejantes a flores (Ruisinger & Schieberle, 2012) y es generado por la desaminación del aminoácido fenilalanina y la presencia de compuestos oxidantes (Hidalgo & Zamora, 2019). En la etapa inicial de tueste del café este compuesto aumenta rápidamente (Poisson et al., 2020). El heptanal confiere un olor a nuez y a quemado al café (Tao et al., 2014). Los aldehídos surgen principalmente por reacciones en donde participan los ácidos grasos del café y se producen durante el tratamiento térmico (Mottram, 1998) siendo estos cinco aldehídos desarrollados durante el tostado del café. La alta temperatura utilizada durante el autoclavado pudo haber anticipado la formación de los aldehídos ya en el café verde. Entre los ésteres, está el isovalerato de etilo. Gonzalez-Rios et al. (2007) probaron 4 tratamientos postcosecha en el café verde que se diferenciaban en cuanto al tipo de despulpado y la eliminación del mucilago para ver como influían en el aroma del café. El tratamiento 1, utilizando el método húmedo, mostró contenidos más altos de compuestos agradables generadores de aromas, resaltando la aparición de ésteres como el isovalerato de etilo que se caracteriza por conferir olores frutales al café. También encontraron que este éster disminuyó junto con otros ésteres después del proceso de tostado, siendo el probable motivo de no haber sido detectado en los cafés tostados y en la bebida de café. En el grupo de los fenoles está el compuesto 3,5-dimetilfenol que fue detectado solamente en el café verde autoclavado. El 2-pentilfurano fue el único furano detectado solamente en el café verde autoclavado

que es considerado un indicador de la oxidación de lípidos (Zheng et al., 2015). Aunque haya poca información sobre el 2-pentilfurano (Frank et al., 2020) hay reporte de que su formación se da por la degradación térmica de carbohidratos, ácido ascórbico o ácidos grasos insaturados (Crews & Castle, 2007) y la degradación térmica de azúcares durante el tostado de café (Gianturco et al., 1964). Fan et al. (2008) investigaron el efecto del tiempo de calentamiento y la temperatura sobre la formación de furanos en sidra de manzana. La sidra contiene azúcares libres y fue utilizada para estudiar la formación de furanos a partir de azúcares, encontrando que había mayor presencia de furanos al calentar la sidra a 120 °C por 10 minutos. La aplicación de la temperatura de 121 °C durante el autoclavado explicaría la presencia del compuesto 2-pentilfurano en el café verde autoclavado. Cuatro compuestos fueron clasificados como hidrocarburos. El etilbenceno fue identificado en mayor cantidad en el café verde sin autoclavar al igual que en otros trabajos (Bertrand et al., 2012; L. W. Lee et al., 2017; Perez et al., 2023). El propilbenceno y 4-etiltolueno fueron identificados solamente en el café verde y son considerados como contaminaciones resultantes del procesamiento, transporte o almacenamiento del grano de café verde (Holscher & Steinhart, 1995). El 2,2,3,4-tetrametilpentano fue detectado solamente en el café verde autoclavado.

Los compuestos con diferencia estadísticamente significativa en el café tostado fueron cinco, divididos en 3 grupos (cetonas, fenoles y otros). La hidroxiacetona, clasificada en el grupo de las cetonas, es un producto de la degradación de los monosacáridos (Miyazato et al., 2013) y fue detectada en mayor cantidad en el café tostado no autoclavado. La hidroxiacetona se forma por retroaldolización de desoxiosonas bajo condiciones suaves de temperatura (Poisson et al., 2019) siendo una explicación de su detección solamente en el café no autoclavado ya que podría haber sido degradada en el autoclavado. Asimismo, la otra cetona fue la furil hidroximetil cetona detectada solamente en el café tostado no autoclavado. En el grupo de los fenoles se encuentra el 2-metoxi-4-vinilfenol considerado dentro de los 22 compuestos importantes responsables del sabor del café tostado (Sammelroch & Grosch, 1996) y se produce mediante la degradación de los ácidos clorogénicos, específicamente el ácido ferúlico, durante el tostado (Poisson et al., 2017). En el presente trabajo, hubo presencia del 2-metoxi-4-vinilfenol solamente en el café tostado sin autoclavar, la no detección de ello en el café tostado autoclavado pudo deberse a que la alta temperatura y presión de la autoclave generaron reacciones adicionales como la pirólisis de alguno de estos compuestos fenólicos, lo que podría



resultar en la degradación o pérdida del 2-metoxi-4-vinilfenol durante el proceso de tostado. Yilmaz & Koca (2017) evaluaron el efecto del tratamiento en autoclave sobre el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante del bulgur y trigo duro, encontrando que hubo una pérdida de ácidos clorogénicos durante el autoclavado debido a su larga duración y al efecto combinado de la temperatura y la presión. El autoclavado duró 15 min, pero todo el proceso fue de 1 hora y 30 minutos debido al tiempo necesario para alcanzar los parámetros de operación (121°C; 0.11 bar), así como para que el autoclave se enfriara para abrirla, produciendo así una exposición más prolongada de las muestras a las altas temperaturas. El 5-etenil-2-metoxifenol, que fue identificado en el café tostado autoclavado, es un compuesto que se forma mediante la descarboxilación del ácido isoferúlico (Scheidig et al., 2007) que también pertenece al grupo de los ácidos clorogénicos (Monteiro et al., 2007), El 5-etenil-2-metoxifenol fue capaz de soportar el tratamiento de autoclavado y poder formarse durante el tostado, ya que no fue detectado en el café tostado sin autoclavar. Dentro del grupo de otros compuestos está el 2-metiltetrahidrotiofen-3-ona que solamente fue detectado en el café tostado no autoclavado que es un producto formado por la reacción de Maillard durante el tostado (Pua et al., 2023) y confiere un aroma sulfuroso semejante al olor de la baya en el café (Pua et al., 2020).

Todos los compuestos detectados en la bebida estuvieron presentes en ambos tratamientos (bebida elaborada con café no autoclavado y bebida elaborada con café autoclavado) habiendo diferencia estadísticamente significativa en las concentraciones de diez COV. Tres furanos (2-acetilfurano, 2,2'-metilenbis-furano y sulfuro de furfurilmetilo) detectados presentaron diferencias estadísticas. Los tiempos de tostado más prolongados tienden a generar niveles más altos de furanos (Guenther et al., 2010) siendo una posible explicación de la detección de estos furanos en mayor concentración en la bebida elaborada con café autoclavado, una vez que estos granos pasaron por dos procesos térmicos con la utilización de altas temperaturas. La bebida expreso utiliza menor volumen de agua para la extracción cuando comparada con otros métodos de preparación, lo que resulta niveles más altos de solubles de café. Las altas presiones aplicadas en la máquina de café expreso, el sistema cerrado y el corto tiempo para la preparación del café en comparación con el método de goteo favorece la extracción de furanos (Mesias & Morales, 2015). También fueron detectados tres pirroles (1-metilpirrol, pirrol y 1-furfurilpirrol) que presentaron diferencias significativas. Chindapan et al. (2021)

observaron que la formación de pirroles en el café no fue dependiente de altas temperaturas porque el tostado medio también influyó en la mayor formación de pirroles. Sin embargo, los granos tostados con vapor sobrecalentado presentaron mayor cantidad de pirroles que los granos tostados con aire caliente, lo que justificaría la mayor presencia de estos compuestos en las muestras de bebida elaborada con café autoclavado por la esterilización húmeda, el tostado y la extracción del café expreso. El acetato de furfurilo y el formiato de furfurilo fueron los ésteres identificados, además de una cetona, 2,3-hexanodiona. Petisca et al. (2013) observaron que la velocidad media y rápida de tostado aumentaba la proporción de ésteres y cetonas cuando analizaron la bebida de café expreso, lo que justificaría la mayor concentración de estos compuestos en los granos de café autoclavados del presente trabajo, ya que el tueste fue más rápido que para los granos de café no autoclavados, aunque se aplicó los mismos parámetros de temperatura. Finalmente, un fenol (guayacol) presentó diferencia estadística. El guayacol presenta notas sensoriales de especias y ahumadas importantes al aroma de café y su formación posiblemente también está relacionada con la degradación de los ácidos clorogénicos (Dorfner et al., 2003). Yu et al. (2021) observaron que el aumento de la temperatura y el tiempo de tostado aumentó los niveles de guayacol en el café expreso, por lo que podría explicar que el autoclavado actuó para aumentar este compuesto en la bebida de café.

## V CONCLUSIONES

A pesar de que no se encontraron diferencias en el pH y el contenido de humedad entre los tratamientos aplicados al café, los catadores pudieron percibir diferencias sensoriales entre las bebidas. En las pruebas afectivas, el café autoclavado obtuvo puntuaciones ligeramente superiores en atributos como color, aroma e impresión general, mientras que el café no autoclavado fue preferido en términos de sabor.

La alta temperatura del autoclavado, combinada con el tostado, resultó en la presencia de cambios en la superficie de los granos tostados y de la bebida.

Se encontraron diferencias en los compuestos orgánicos volátiles (COV) entre los granos de café sin autoclavar y autoclavados. Los granos autoclavados presentaron un perfil de COV distinto, influenciado por el tratamiento térmico adicional, lo cual modificó la concentración de ciertos compuestos como los aldehídos y los ésteres.

El tratamiento con autoclave promovió la formación de compuestos como el guayacol, que aumentó debido a la combinación de altas temperaturas durante el autoclavado y el tostado. Estos compuestos contribuyeron a las diferencias observadas en los perfiles sensoriales.

Los resultados sugieren que el autoclavado puede ser utilizado como un pretratamiento para modificar el perfil químico y sensorial del café. Sin embargo, es importante considerar los efectos sobre atributos específicos, como el sabor.

Todo lo mencionado destaca cómo los tratamientos térmicos pueden influir significativamente en las características del café, proporcionando información valiosa para optimizar procesos en la industria cafetalera.

## VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Alvarez, M. E., Saucedo-Castañeda, G., Durand, N., Perraud-Gaime, I., González-Robles, R. O., & Rodríguez-Serrano, G. M. (2021). The variety, roasting, processing, and type of cultivation determine the low OTA levels of commercialized coffee in Chiapas State, Mexico. *Food Control*, *126*, 108088. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108088>
- Akiyama, M., Murakami, K., Ikeda, M., Iwatsuki, K., Wada, A., Tokuno, K., Onishi, M., & Iwabuchi, H. (2007). Analysis of the Headspace Volatiles of Freshly Brewed Arabica Coffee Using Solid-Phase Microextraction. *Journal of Food Science*, *72*(7), C388-C396. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00447.x>
- Angeloni, G., Guerrini, L., Masella, P., Bellumori, M., Daluiso, S., Parenti, A., & Innocenti, M. (2019). What kind of coffee do you drink? An investigation on effects of eight different extraction methods. *Food Research International*, *116*, 1327-1335. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.022>
- Arctander, S. (2000). *Perfume and flavor chemicals: Aroma chemicals*. Allured Publishing Corporation.
- Awuchi, C. G., Ondari, E. N., Eseoghene, I. J., Twinomuhwezi, H., Amagwula, I. O., Morya, S., Awuchi, C. G., Ondari, E. N., Eseoghene, I. J., Twinomuhwezi, H., Amagwula, I. O., & Morya, S. (2021). Fungal growth and mycotoxins production: Types, toxicities, control strategies, and detoxification. En *Fungal Reproduction and Growth*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.100207>
- Bertrand, B., Boulanger, R., Dussert, S., Ribeyre, F., Berthiot, L., Descroix, F., & Joët, T. (2012). Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green Arabica coffee bean as well as coffee beverage quality. *Food Chemistry*, *135*(4), 2575-2583. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.060>

- Bonvehí, J. S. (2005). Investigation of aromatic compounds in roasted cocoa powder. *European Food Research and Technology*, 221(1), 19-29. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-1147-y>
- Bressani, A. P. P., Martinez, S. J., Evangelista, S. R., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2018). Characteristics of fermented coffee inoculated with yeast starter cultures using different inoculation methods. *LWT*, 92, 212-219. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.029>
- Burdock, G. A., & Fenaroli, G. (2010). *Fenaroli's handbook of flavor ingredients* (6th ed). CRC Press/Taylor & Francis Group.
- Caporaso, N., Whitworth, M. B., Cui, C., & Fisk, I. D. (2018). Variability of single bean coffee volatile compounds of arabica and robusta roasted coffees analysed by SPME-GC-MS. *Food Research International*, 108, 628-640. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.077>
- Carcea, M., Danesi, I., De Gara, L., Diretto, G., Fanali, C., Raffo, A., Sinesio, F., Della Posta, S., Frusciante, S., Moneta, E., Narducci, V., Peparaio, M., Saggia Civitelli, E., & Turfani, V. (2023). Chemical composition and sensory profile of the Italian espresso coffee powder and beverage under different roasting conditions. *European Food Research and Technology*, 249(5), 1287-1301. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04213-0>
- Chindapan, N., Puangngoen, C., & Devahastin, S. (2021). Profiles of volatile compounds and sensory characteristics of Robusta coffee beans roasted by hot air and superheated steam. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(8), 3814-3825. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14997>
- Chiriboga, G., Peñaherrera, S., Londoño-Larrea, P., Castillo, L., Carvajal C, G., & Montero-Calderón, C. (2022). The effect of the chemical composition on the

- sensory characterization of Ecuadorian coffee. *Current Research in Food Science*, 5, 2022-2032. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.023>
- Cortés-Macías, E. T., López, C. F., Gentile, P., Girón-Hernández, J., & López, A. F. (2022). Impact of post-harvest treatments on physicochemical and sensory characteristics of coffee beans in Huila, Colombia. *Postharvest Biology and Technology*, 187, 111852. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111852>
- Crews, C., & Castle, L. (2007). A review of the occurrence, formation and analysis of furan in heat-processed foods. *Trends in Food Science & Technology*, 18(7), 365-372. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.03.006>
- Davila Garcia, J. D. (2023). *Perfil de compuestos orgánicos volátiles de la bebida de café preparada con granos inoculados con un hongo toxigénico y uno no toxigénico determinado por Gc-Ms*. [Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/3182>
- De Brito, E. S., García, N. H. P., Amancio, A. C., Valente, A. L. P., Pini, G. F., & Augusto, F. (2001). Effect of autoclaving cocoa nibs before roasting on the precursors of the Maillard reaction and pyrazines. *International Journal of Food Science & Technology*, 36(6), 625-630. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.00505.x>
- De Maria, C. a. B., Trugo, L. C., Neto, F. R. A., & Moreira, R. F. A. (1994). Arabinogalactan as a potential furfural precursor in roasted coffee. *International Journal of Food Science & Technology*, 29(5), 559-562. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb02098.x>
- Donovan, N. K., Foster, K. A., & Parra Salinas, C. A. (2019). Analysis of green coffee quality using hermetic bag storage. *Journal of Stored Products Research*, 80, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.11.003>

- Dorfner, R., Ferge, T., Kettrup, A., Zimmermann, R., & Yeretdzian, C. (2003). Real-time monitoring of 4-Vinylguaiacol, Guaiacol, and Phenol during coffee roasting by resonant laser Ionization time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(19), 5768-5773. <https://doi.org/10.1021/jf0341767>
- Erten, E. S., & Cadwallader, K. R. (2017). Identification of predominant aroma components of raw, dry roasted and oil roasted almonds. *Food Chemistry*, 217, 244-253. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.091>
- Fan, X., Huang, L., & Sokorai, K. J. B. (2008). Factors affecting thermally induced furan formation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(20), 9490-9494. <https://doi.org/10.1021/jf801612c>
- Farag, M. A., Otify, A. M., El-Sayed, A. M., Michel, C. G., ElShebiny, S. A., Ehrlich, A., & Wessjohann, L. A. (2019). Sensory metabolite profiling in a date pit based coffee substitute and in response to roasting as analyzed via mass spectrometry based metabolomics. *Molecules*, 24(18), Article 18. <https://doi.org/10.3390/molecules24183377>
- Febrianto, N. A., & Zhu, F. (2023). Coffee bean processing: Emerging methods and their effects on chemical, biological and sensory properties. *Food Chemistry*, 412, 135489. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135489>
- Flament, I. (2001). *Coffee Flavor Chemistry*. John Wiley & Sons.
- Frank, N., Dubois, M., & Huertas Pérez, J. F. (2020). Detection of Furan and five Alkylfurans, including 2-Pentylfuran, in various Food Matrices. *Journal of Chromatography A*, 1622, 461119. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2020.461119>

- Funlayo, A., Adenuga, O., Mapayi, E. F., & Olaniyi, O. (2017). Coffee: Botany, distribution, diversity, chemical composition and its management. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 10, 57-62. <https://doi.org/10.9790/2380-1007035762>
- Gaslac Culqui, F. (2022). *Incidencia de hongos con potencial toxigénico presentes en café de la provincia de Rodríguez de Mendoza—Amazonas*. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2953>
- Gautz, L. D., Smith, V. E., & Bittenbender, H. C. (2008). *Measuring coffee bean moisture content*. College of Tropical Agriculture and Human Resources. <http://www.ctahr.hawaii.edu/freepubs>
- Gianturco, M. A., Giammarino, A. S., Friedel, P., & Flanagan, V. (1964). The volatile constituents of coffee. IV. Furanic and pyrrolic compounds. *Tetrahedron*, 20(12), 2951-2961. [https://doi.org/10.1016/s0040-4020\(01\)98518-7](https://doi.org/10.1016/s0040-4020(01)98518-7)
- Gonzalez-Rios, O., Suarez-Quiroz, M. L., Boulanger, R., Barel, M., Guyot, B., Guiraud, J.-P., & Schorr-Galindo, S. (2007). Impact of “ecological” post-harvest processing on coffee aroma: II. Roasted coffee. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3-4), 297-307. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.12.004>
- Guenther, H., Hoenicke, K., Biesterveld, S., Gerhard-Rieben, E., & Lantz, I. (2010). Furan in coffee: Pilot studies on formation during roasting and losses during production steps and consumer handling. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 27(3), 283-290. <https://doi.org/10.1080/19440040903317505>
- Guiop Huaman, H. (2023). *Influencia de penicillium toxigénico y no toxigénico en el perfil volátil del café filtrado y del grano verde*. [Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/3217>



- Ha, J. K., & Lindsay, R. c. (1991). Volatile Alkylphenols and Thiophenol in species-related characterizing flavors of red meats. *Journal of Food Science*, 56(5), 1197-1202. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb04733.x>
- Heitmann, M., Zannini, E., Axel, C., & Arendt, E. (2017). Correlation of flavor profile to sensory analysis of bread produced with different *Saccharomyces cerevisiae* originating from the baking and beverage industry. *Cereal Chemistry*, 94(4), 746-751. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-03-17-0044-R>
- Hidalgo, F. J., & Zamora, R. (2019). Formation of phenylacetic acid and benzaldehyde by degradation of phenylalanine in the presence of lipid hydroperoxides: New routes in the amino acid degradation pathways initiated by lipid oxidation products. *Food Chemistry*: X, 2, 100037. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100037>
- Holscher, W., & Steinhart, H. (1995). Aroma compounds in green coffee. En *Developments in Food Science* (Vol. 37, pp. 785-803). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0167-4501\(06\)80196-2](https://doi.org/10.1016/S0167-4501(06)80196-2)
- Iamanaka, B. T., Teixeira, A. A., Teixeira, A. R. R., Copetti, M. V., Bragagnolo, N., & Taniwaki, M. H. (2014). The mycobiota of coffee beans and its influence on the coffee beverage. *Food Research International*, 62, 353-358. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.033>
- Iamanaka, B. T., Teixeira, A. A., Teixeira, A. R. R., Vicente, E., Frisvad, J. C., Taniwaki, M. H., & Bragagnolo, N. (2014). Potential of volatile compounds produced by fungi to influence sensory quality of coffee beverage. *Food Research International*, 64, 166-170. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.017>

- Köseo, P., Yilmaz, L., Hacibekiro, I., & Kolak, U. (2014). Effect of roasting on antioxidant and anticholinesterase capacities of coffee. *Journal of Food and Nutrition Research*, 53(3), 232-239.
- Kotyczka, C., Boettler, U., Lang, R., Stiebitz, H., Bytof, G., Lantz, I., Hofmann, T., Marko, D., & Somoza, V. (2011). Dark roast coffee is more effective than light roast coffee in reducing body weight, and in restoring red blood cell vitamin E and glutathione concentrations in healthy volunteers. *Molecular Nutrition & Food Research*, 55(10), 1582-1586. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100248>
- Kumar, S., Kunwar, A., Gautam, S., & Sharma, A. (2012). Inactivation of *A. ochraceus* spores and detoxification of ochratoxin A in coffee beans by gamma irradiation. *Journal of Food Science*, 77(2), T44-T51. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02572.x>
- Lee, L. W., Tay, G. Y., Cheong, M. W., Curran, P., Yu, B., & Liu, S. Q. (2017). Modulation of the volatile and non-volatile profiles of coffee fermented with *Yarrowia lipolytica*: I. Green coffee. *LWT*, 77, 225-232. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.047>
- Lee, S. J., Kim, M. K., & Lee, K.-G. (2017). Effect of reversed coffee grinding and roasting process on physicochemical properties including volatile compound profiles. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 44, 97-102. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.009>
- Levi, C. P., Trenk, H. L., & Mohr, H. K. (1974). Study of the occurrence of ochratoxin A in green coffee beans. *Journal of Association of Official Analytical Chemists*, 57(4), 866-870. <https://doi.org/10.1093/jaoac/57.4.866>
- Lingle, T. R., & Menon, S. N. (2017). Chapter 8—Cupping and grading—Discovering character and quality. En B. Folmer (Ed.), *The Craft and Science of Coffee* (pp.

- 181-203). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803520-7.00008-6>
- López-Galilea, I., Fournier, N., Cid, C., & Guichard, E. (2006). Changes in Headspace volatile concentrations of coffee brews caused by the roasting process and the brewing procedure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(22), 8560-8566. <https://doi.org/10.1021/jf061178t>
- Maman, M., Sangchote, S., Piasai, O., Leesutthiphonchai, W., Sukorini, H., & Khewkhom, N. (2021). Storage fungi and ochratoxin A associated with arabica coffee bean in postharvest processes in Northern Thailand. *Food Control*, *130*, 108351. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108351>
- Mazzafera, P. (1999). Chemical composition of defective coffee beans. *Food Chemistry*, *64*(4), 547-554. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00167-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00167-8)
- Mesias, M., & Morales, F. J. (2015). Chapter 110—Analysis of furan in coffee. En V. R. Preedy (Ed.), *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 1005-1012). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00110-8>
- Miyazato, H., Nakamura, M., Hashimoto, S., & Hayashi, S. (2013). Identification of the odour-active cyclic diketone *cis*-2,6-dimethyl-1,4-cyclohexanedione in roasted Arabica coffee brew. *Food Chemistry*, *138*(4), 2346-2355. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.013>
- Monteiro, M., Farah, A., Perrone, D., Trugo, L. C., & Donangelo, C. (2007). Chlorogenic acid compounds from coffee are differentially absorbed and metabolized in humans<sup>1,2</sup>. *The Journal of Nutrition*, *137*(10), 2196-2201. <https://doi.org/10.1093/jn/137.10.2196>
- Mori, E. E. M., Bragagnolo, N., Morgano, M., Anjos, V., Yotsuyanagi, K., Faria, E. V., & Iyomasa, J. M. (2003). Brazil coffee growing regions and quality of natural,

- pulped natural and washed coffees. *Food and Food Ingredients Journal of Japan*, 208, 416-423.
- Moss, M. (2009). Toxigenic fungi. En C. de W. Blackburn & P. J. McClure (Eds.), *Foodborne Pathogens (Second Edition)* (pp. 1042-1059). Woodhead Publishing.  
<https://doi.org/10.1533/9781845696337.3.1042>
- Mottram, D. S. (1998). Flavour formation in meat and meat products: A review. *Food Chemistry*, 62(4), 415-424. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00076-4)
- Muñoz, A. E., Hernández, S. S., Tolosa, A. R., Burillo, S. P., & Olalla Herrera, M. (2020). Evaluation of differences in the antioxidant capacity and phenolic compounds of green and roasted coffee and their relationship with sensory properties. *LWT*, 128, 109457. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109457>
- Muñoz-Pajares, A. J., Várzea, V., & Silva, M. do C. (2023). The story of coffee: Legend and truth. *Trends in Plant Science*, 28(5), 501-504.  
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.02.012>
- Murakami, K., Akiyama, M., Sumi, M., Ikeda, M., Iwatsuki, K., Nishimura, O., & Kumazawa, K. (2010). Differences in flavor characteristics of coffee drinks originating from thermal sterilization process. *Food Science and Technology Research*, 16(2), 99-110. <https://doi.org/10.3136/fstr.16.99>
- Paterson, R. R. M., Lima, N., & Taniwaki, M. H. (2014). Coffee, mycotoxins and climate change. *Food Research International*, 61, 1-15.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.037>
- Perez, J., Calderon, M. S., Bustamante, D. E., Caetano, A. C., Mendoza, J. E., & Fernandez-Güimac, S. L. J. (2023). Variability of volatile compound profiles during two coffee fermentation times in northern Peru using SPME-GC/MS.

- Brazilian Journal of Food Technology*, 26, e2022077.  
<https://doi.org/10.1590/1981-6723.07722>
- Petisca, C., Pérez-Palacios, T., Farah, A., Pinho, O., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2013). Furans and other volatile compounds in ground roasted and espresso coffee using headspace solid-phase microextraction: Effect of roasting speed. *Food and Bioproducts Processing*, 91(3), 233-241.  
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.10.003>
- Pino, J. A. (2014). Characterisation of volatile compounds in a smoke flavouring from rice husk. *Food Chemistry*, 153, 81-86.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.041>
- Poisson, L., Blank, I., Dunkel, A., & Hofmann, T. (2017). Chapter 12—The chemistry of roasting—Decoding flavor formation. En B. Folmer (Ed.), *The Craft and Science of Coffee* (pp. 273-309). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803520-7.00012-8>
- Poisson, L., Pittet, J., Schaerer, A., Mestdagh, F., & Davidek, T. (2020). Quantitative validation of the in-bean approach in coffee roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(17), 4732-4742. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b05436>
- Poisson, L., Schaerer, A., Spreng, S., Mestdagh, F., Blank, I., & Davidek, T. (2019). Generation of  $\alpha$ -Diketones and 4-Hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone upon coffee roasting—Impact of roast degree on reaction pathways. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(50), 13829-13839.  
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00770>
- Pua, A., Huang, Y., Vivian Goh, R. M., Ee, K.-H., Li, L., Cornuz, M., Lassabliere, B., Jublot, L., Liu, S. Q., & Yu, B. (2023). Multidimensional gas chromatography of organosulfur compounds in coffee and structure–Odor analysis of 2-

- Methyltetrahydrothiophen-3-one. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(10), 4337-4345. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c08842>
- Pua, A., Lau, H., Liu, S. Q., Tan, L. P., Goh, R. M. V., Lassabliere, B., Leong, K.-C., Sun, J., Cornuz, M., & Yu, B. (2020). Improved detection of key odourants in Arabica coffee using gas chromatography-olfactometry in combination with low energy electron ionisation gas chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Food Chemistry*, 302, 125370. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125370>
- R Development Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing* [Software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Ramalakshmi, K., Kubra, I. r., & Rao, L. j. m. (2007). Physicochemical characteristics of green coffee: Comparison of graded and defective beans. *Journal of Food Science*, 72(5), S333-S337. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00379.x>
- Ramos, C. L., Dias, D. R., Miguel, M. G. da C. P., & Schwan, R. F. (2014). Impact of different cocoa hybrids (*Theobroma cacao* L.) and *S. cerevisiae* UFLA CA11 inoculation on microbial communities and volatile compounds of cocoa fermentation. *Food Research International*, 64, 908-918. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.08.033>
- Redgwell, R. J., Trovato, V., Curti, D., & Fischer, M. (2002). Effect of roasting on degradation and structural features of polysaccharides in Arabica coffee beans. *Carbohydrate Research*, 337(5), 421-431. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(02\)00010-1](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(02)00010-1)
- Rodriguez-Campos, J., Escalona-Buendía, H. B., Contreras-Ramos, S. M., Orozco-Avila, I., Jaramillo-Flores, E., & Lugo-Cervantes, E. (2012). Effect of fermentation time

- and drying temperature on volatile compounds in cocoa. *Food Chemistry*, 132(1), 277-288. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.078>
- Rotta, N. M., Curry, S., Han, J., Reconco, R., Spang, E., Ristenpart, W., & Donis-González, I. R. (2021). A comprehensive analysis of operations and mass flows in postharvest processing of washed coffee. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105554. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105554>
- Ruisinger, B., & 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>
- Santos, J. R., & Rodrigues, J. A. (2020). Characterization of volatile carbonyl compounds in defective green coffee beans using a fan assisted extraction process. *Food Control*, 108, 106879. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106879>
- Scheidig, C., Czerny, M., & Schieberle, P. (2007). Changes in key odorants of raw coffee beans during storage under defined conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(14), 5768-5775. <https://doi.org/10.1021/jf070488o>
- Schenker, S., Handschin, S., Frey, B., Perren, R., & Escher, F. (2000). Pore structure of coffee beans affected by roasting conditions. *Journal of Food Science*, 65(3), 452-457. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16026.x>
- Schieber, A. (2018). Reactions of quinones—Mechanisms, structures, and prospects for food research. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(50), 13051-13055. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05215>
- Schranz, M., Lorber, K., Klos, K., Kerschbaumer, J., & Buettner, A. (2017). Influence of the chemical structure on the odor qualities and odor thresholds of guaiacol-

- derived odorants, Part 1: Alkylated, alkenylated and methoxylated derivatives. *Food Chemistry*, 232, 808-819. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.070>
- Semmelroch, P., & Grosch, W. (1996). Studies on character impact odorants of coffee brews. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(2), 537-543. <https://doi.org/10.1021/jf9505988>
- Spiller, M. A. (1998). The chemical components of coffee. En *Caffeine*. CRC Press.
- Sunarharum, W. B., Williams, D. J., & Smyth, H. E. (2014). Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. *Food Research International*, 62, 315-325. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.030>
- Tao, N.-P., Wu, R., Zhou, P.-G., Gu, S.-Q., & Wu, W. (2014). Caracterización de compuestos olorosos activos en carne cocida de pez globo oscuro ( *Takifugu obscurus* ) de granja mediante cromatografía de gases, espectrometría de masas y olfatometría. *Journal of Food and Drug Analysis*, 22(4), 431-438. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2014.02.005>
- Toci, A. T., & Farah, A. (2008). Volatile compounds as potential defective coffee beans' markers. *Food Chemistry*, 108(3), 1133-1141. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.064>
- Todo sobre el café*. (2019). RBA Libros.
- Toledo, P. R. A. B., Pezza, L., Pezza, H. R., & Toci, A. T. (2016). Relationship between the different aspects related to coffee quality and their volatile compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(4), 705-719. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12205>
- Várady, M., Tauchen, J., Fraňková, A., Klouček, P., & Popelka, P. (2022). Effect of method of processing specialty coffee beans (natural, washed, honey,



- fermentation, maceration) on bioactive and volatile compounds. *LWT*, 172, 114245. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114245>
- Viegas, C., Pacífico, C., Faria, T., de Oliveira, A. C., Caetano, L. A., Carolino, E., Gomes, A. Q., & Viegas, S. (2017). Fungal contamination in green coffee beans samples: A public health concern. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 80(13-15), 719-728. <https://doi.org/10.1080/15287394.2017.1286927>
- Wei, F., & Tanokura, M. (2015). Chapter 10—Chemical changes in the components of coffee beans during roasting. En V. R. Preedy (Ed.), *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 83-91). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00010-3>
- Yashin, A., Yashin, Y., Wang, J. Y., & Nemzer, B. (2013). Antioxidant and antiradical activity of coffee. *Antioxidants*, 2(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/antiox2040230>
- Yeager, S. E., Batali, M. E., Guinard, J.-X., & Ristenpart, W. D. (2023). Acids in coffee: A review of sensory measurements and meta-analysis of chemical composition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(8), 1010-1036. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1957767>
- Yilmaz, V. A., & Koca, A. F. (2017). Effect of different production techniques on bioactive compounds and antioxidant capacity of einkorn (*Triticum monococcum* L.) and durum (*Triticum turgidum* subsp. *Durum*) bulgur. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(1), 269-277. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7724>
- 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), Article 6. <https://doi.org/10.3390/foods10061347>

- Zenebon, O., Neus, S. P., & Paulo, T. (2008). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos – edição IV*. Instituto Adolfo Lutz.
- Zhang, K., Cheng, J., Hong, Q., Dong, W., Chen, X., Wu, G., & Zhang, Z. (2022). Identification of changes in the volatile compounds of robusta coffee beans during drying based on HS-SPME/GC-MS and E-nose analyses with the aid of chemometrics. *LWT*, *161*, 113317. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113317>
- Zheng, L. W., Chung, H., & Kim, Y.-S. (2015). Effects of dicarbonyl trapping agents, antioxidants, and reducing agents on the formation of furan and other volatile components in canned-coffee model systems. *Food Research International*, *75*, 328-336. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.06.023>

## ANEXOS

**Tabla 5**

*Tabla de respuestas de la prueba sensorial triangular*

N°	Género		Edad	Ocupación	Código				Orden de presentación			Selección correcta	Selección incorrecta
	F	M			Muestra A	Muestra A	Muestra B	Muestra B	Muestra	Muestra	Muestra		
1		M	21	Estudiante	174	887	459		A	A	B	B	
2		M	20	Estudiante	567	234	465		A	B	A		A
3	F		22	Estudiante	335	984	729		B	A	A	B	
4		M	21	Estudiante	927	456	156		A	A	B	B	
5	F		25	Ingeniera Ambiental		653	786	350	B	A	B	A	
6	●	●	●	●		212	395	341	B	B	A	A	
7	F		27	Investigadora		667	867	561	A	B	B		B
8		M	23	Investigador		908	554	740	B	B	A	A	
9	●	●	●	●	798	939	380		A	A	B	B	
10	F		24	●					A	B	A		A
11	F		24	Estudiante	386	790	270		B	A	A	B	
12	F		22	Enfermera	558	932	195		A	B	A	B	
13	F		38	Docente		986	292	901	B	A	B		B
14	F		22	Tesista		725	396	378	B	B	A	A	
15		M	23	Estudiante		778	410	860	A	B	B	A	
16	F		25	Estudiante		691	520	172	B	B	A		B
17		M	26	Tesista	298	106	449		A	A	B	B	
18	F		26	Tesista	452	651	999		A	B	A	B	

N°	Género		Edad	Ocupación	Código				Orden de presentación			Selección correcta	Selección incorrecta
	F	M			Muestra A	Muestra A	Muestra B	Muestra B	Muestra	Muestra	Muestra		
19	F		23	Estudiante	900	650	758		B	A	A	B	
20		M	23	Estudiante	736	631	956		A	B	A	B	
21	F		30	Bióloga		241	804	649	B	A	B		B
22	F		22	Estudiante		955	407	902	B	B	A	A	
23	F		34	Psicólogo		937	825	750	A	B	B		B
24		M	34	Odontólogo		739	666	325	B	B	A	A	
25		M	29	Ingeniero Agrónomo	589	715	951		A	A	B	B	
26		M	28	Investigador	815	761	286		A	B	A		A
27		M	27	Investigador	190	802	377		B	A	A	B	
28		M	26	Investigador	126	503	251		A	B	A	B	
29		M	33	Docente		526	766	487	B	A	B		B
30		M	30	Docente		258	140	892	B	B	A	A	
31	F		35	Docente		748	855	635	A	B	B	A	
32		M	37	Investigador		938	936	654	B	B	A		B
33	●	●	●	●	680	622	569		A	A	B		A
34	F		20	Estudiante	592	483	638		A	B	A	B	
35	F		19	Estudiante	905	393	295		B	A	A		A
36		M	23	Estudiante	103	821	334		A	B	A		A
37		M	23	Estudiante		837	894	497	B	A	B	A	
38		M	22	Estudiante		704	265	907	B	B	A	A	
39		M	23	Estudiante		113	743	856	A	B	B		B
40		M	24	Estudiante		359	865	681	B	B	A	A	
41		M	21	Estudiante	600	479	572		A	A	B	B	

N°	Género		Edad	Ocupación	Código				Orden de presentación			Selección correcta	Selección incorrecta
	F	M			Muestra A	Muestra A	Muestra B	Muestra B	Muestra	Muestra	Muestra		
42	F		21	Estudiante	997	443	612		A	B	A	B	
43		M	40	Docente	252	968	227		B	A	A	B	
44	F		41	Docente	981	677	528		A	B	A	B	
45	F		27	Asistente administrativo		333	724	279	B	A	B	A	
46	F		27	Asistente técnico		948	517	944	B	B	A		B
47		M	31	Ingeniero civil		922	995	611	A	B	B	A	
48	F		24	Practicante	976	445	737		A	A	B		A
49	F		23	Estudiante	685	261	510		A	B	A		A
50	F		23	Tesista	874	640	362		B	A	A	B	
51		M	21	Estudiante	473	809	454		A	B	A	B	
52	F		22	Tesista		617	883	717	B	A	B		B
53	F		28	Asistente técnico		310	420	707	B	B	A	A	
54	F		26	•		830	598	806	A	B	B		B
55		M	22	•		800	179	703	B	B	A		B
56		M	24	Estudiante	496	373	375		A	A	B		A
57		M	24	Estudiante	862	710	429		A	B	A	B	
58		M	22	Estudiante	294	101	784		B	A	A	B	
59	F		20	Estudiante	169	155	876		A	B	A		A
60	F		23	Estudiante		23	18	54	B	A	B	A	
61	F		21	Estudiante		89	10	24	B	B	A		B
62	F		25	Estudiante		37	29	65	A	B	B	A	
63	F		24	Estudiante		45	98	77	B	B	A	A	
64		M	24	Ingeniero	60	21	47		A	A	B	B	

Nota. ● dato no informado.

**Tabla 6**

*Tabla de respuestas de la prueba sensorial de aceptación*

N°	Género		Edad	Ocupación	AUTOCLAVADO				NO AUTOCLAVADO			
	F	M			Color	Aroma	Sabor	Imp. General	Color	Aroma	Sabor	Imp. General
1		M	24	Estudiante	5	4	6	6	5	7	4	5
2		M	24	Estudiante	8	8	2	6	3	5	5	4
3		M	25	Estudiante	6	7	8	6	8	3	7	7
4		M	23	Estudiante	8	8	7	8	4	5	4	4
5	F		24	Investigador	8	8	8	8	6	7	7	7
6		M	25	Investigador	7	8	8	8	8	8	7	7
7		M	28	Ingeniero zootecnista	5	7	6	6	5	7	7	7
8		M	23	Estudiante	6	7	6	7	7	6	4	5
9	F		21	Estudiante	7	7	6	8	9	8	9	9
10	F		28	Asistente técnico	4	6	7	7	8	5	4	4
11		M	24	Estudiante	6	7	2	5	7	5	8	6
12		M	20	Estudiante	7	7	6	7	7	6	8	7
13	F		22	Tesista	8	8	3	4	8	7	4	5
14	F		22	Estudiante	8	7	4	4	7	8	7	8
15		M	23	Tesista	9	8	8	8	8	7	9	8
16		M	19	Estudiante	8	9	6	7	7	8	8	8
17		M	20	Estudiante	7	7	2	6	8	7	5	7
18		M	23	Estudiante	7	7	7	7	7	7	7	8
19	F		27	Tesista	6	7	6	8	5	7	8	8

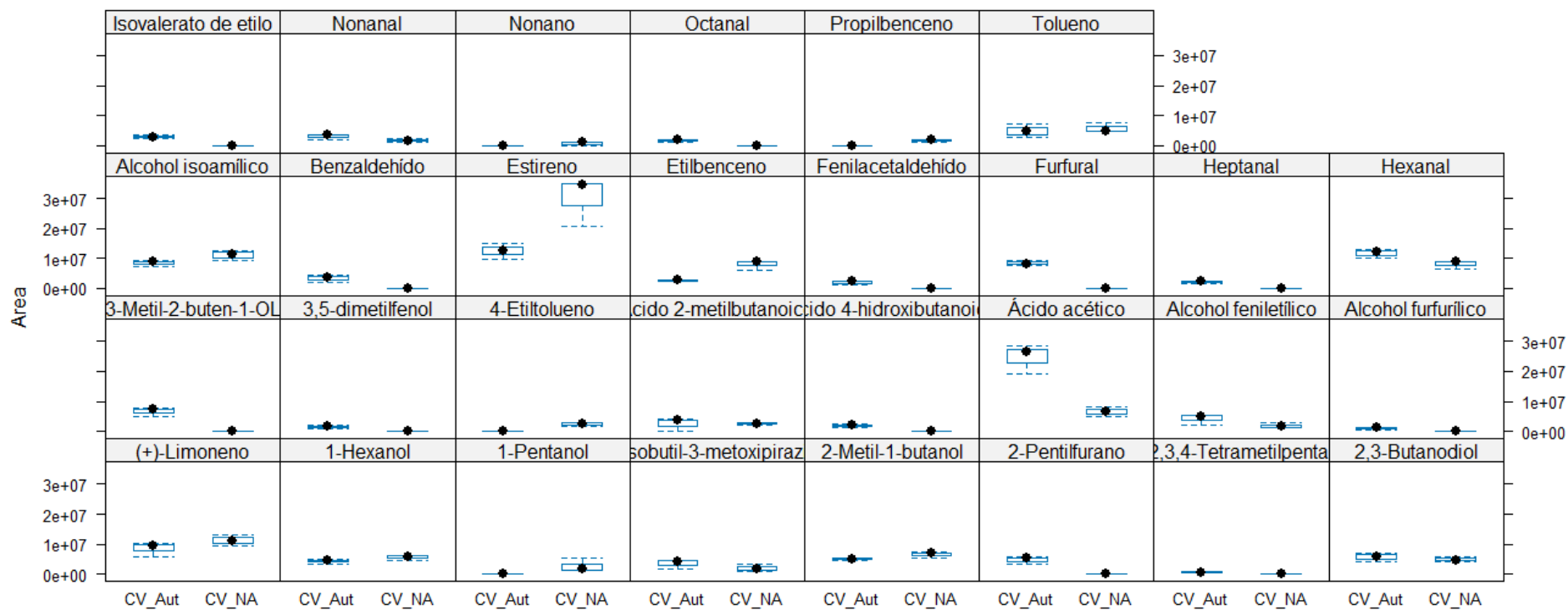
N°	Género		Edad	Ocupación	AUTOCLAVADO				NO AUTOCLAVADO			
	F	M			Color	Aroma	Sabor	Imp. General	Color	Aroma	Sabor	Imp. General
20	F		41	Docente	7	8	8	8	8	8	8	8
21	F		27	Investigador	7	8	9	8	8	7	8	7
22	F		25	Ingeniera Ambiental	7	6	7	7	6	6	7	7
23		M	20	Estudiante	8	6	7	7	6	5	4	6
24		M	20	Estudiante	5	5	4	4	4	4	6	5
25		M	22	Conductor	3	5	7	9	1	2	4	8
26		M	18	Estudiante	6	7	7	7	8	6	8	6
27		M	23	Estudiante	8	8	8	8	8	7	8	7
28		M	20	Estudiante	7	7	8	7	8	8	7	8
29		M	19	Estudiante	8	8	8	8	8	7	6	7
30		M	23	Estudiante	8	7	7	7	8	6	7	6
31		M	21	Estudiante	6	7	6	7	7	7	7	8
32		M	23	Asistente técnico	8	7	7	7	8	5	6	6
33	F		22	Estudiante	7	7	1	2	7	7	4	6
34		M	20	Estudiante	9	9	8	8	6	8	4	5
35		M	22	Estudiante	7	6	7	7	3	3	3	3
36	F		18	Estudiante	7	7	8	8	5	6	6	6
37	F		19	Estudiante	6	7	7	7	7	5	6	6
38		M	19	Estudiante	7	8	9	8	6	7	7	8
39	F		18	Estudiante	8	9	9	9	8	9	9	9
40		M	19	Estudiante	6	3	6	6	8	6	8	8
41	F		21	Estudiante	8	5	5	8	9	9	9	9
42		M	20	Estudiante	8	8	8	8	7	8	7	7
43	F		21	Estudiante	5	4	5	6	8	9	9	9

N°	Género		Edad	Ocupación	AUTOCLAVADO				NO AUTOCLAVADO			
	F	M			Color	Aroma	Sabor	Imp. General	Color	Aroma	Sabor	Imp. General
44	F		21	Estudiante	7	3	5	7	8	7	3	6
45		M	22	Estudiante	8	7	6	7	7	8	8	8
46	F		19	Estudiante	8	8	9	8	8	9	8	8
47	F		33	Bióloga	7	4	6	5	6	5	2	4
48	F		35	Investigadora	6	5	7	6	8	8	8	8
49		M	36	Investigador	6	6	5	6	5	7	8	7
50	F		24	Estudiante	7	7	7	8	6	5	8	8
51		M	25	Tesista	7	7	5	6	5	5	7	5
52		M	25	Estudiante	8	9	9	9	8	7	8	9
53	F		23	Estudiante	6	7	8	6	6	7	7	6
54		M	24	Estudiante	7	6	4	6	4	7	7	7
55		M	25	Tesista	8	7	7	9	7	8	6	7
56		M	23	Asistente administrativo	8	7	7	7	9	8	6	8
57	F		19	Estudiante	8	7	7	8	7	5	6	8
58	F		20	Estudiante	7	9	9	8	9	7	6	7
59		M	22	Estudiante	8	8	7	8	7	7	9	8
60		M	19	Estudiante	7	7	4	5	8	7	6	7
61	F		23	Tesista	8	6	7	7	7	8	9	9
62		M	19	Estudiante	9	8	7	8	8	9	9	9
63		M	23	Tesista	9	7	5	6	7	4	6	4
64		M	23	Estudiante	7	7	7	7	8	6	5	6



**Figura 5**

*Gráficos de caja y bigote de los COV en el grano de café verde*

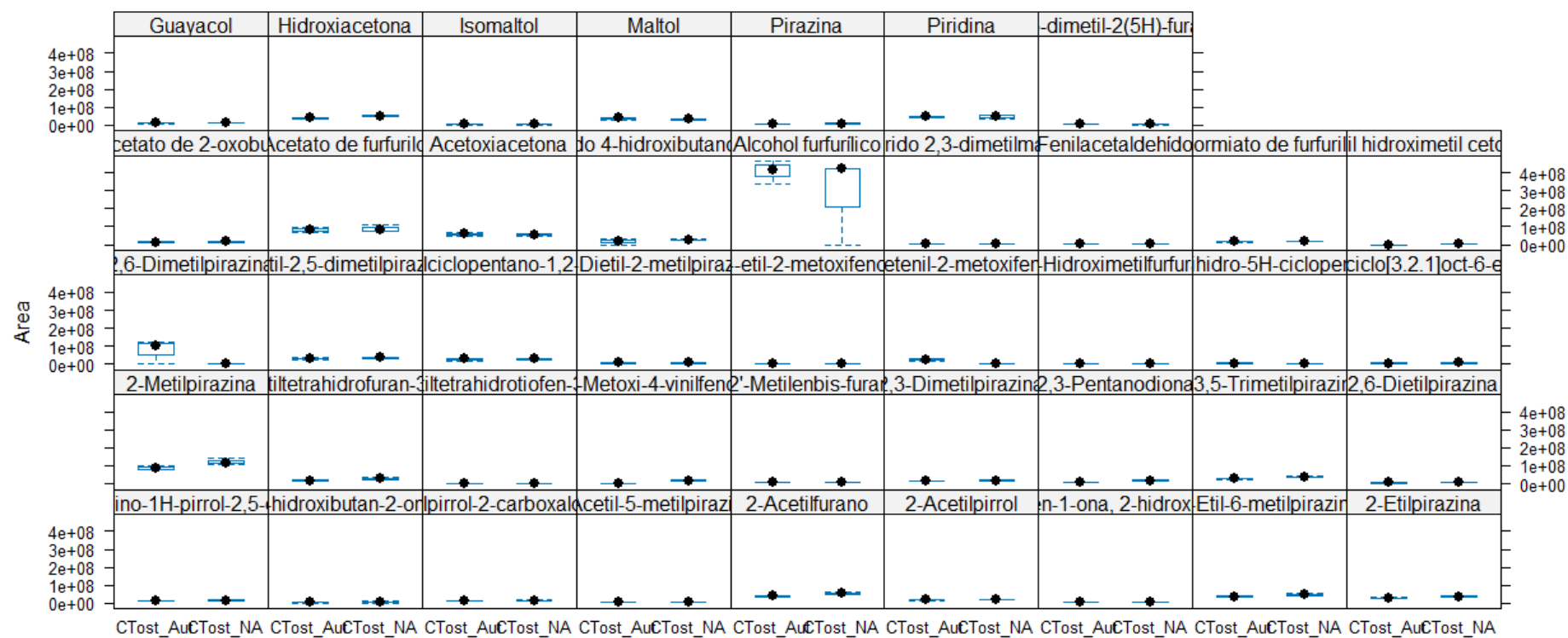


*Nota.* CV\_Aut: café verde autoclavado

CV\_NA: café verde sin autoclavar

**Figura 6**

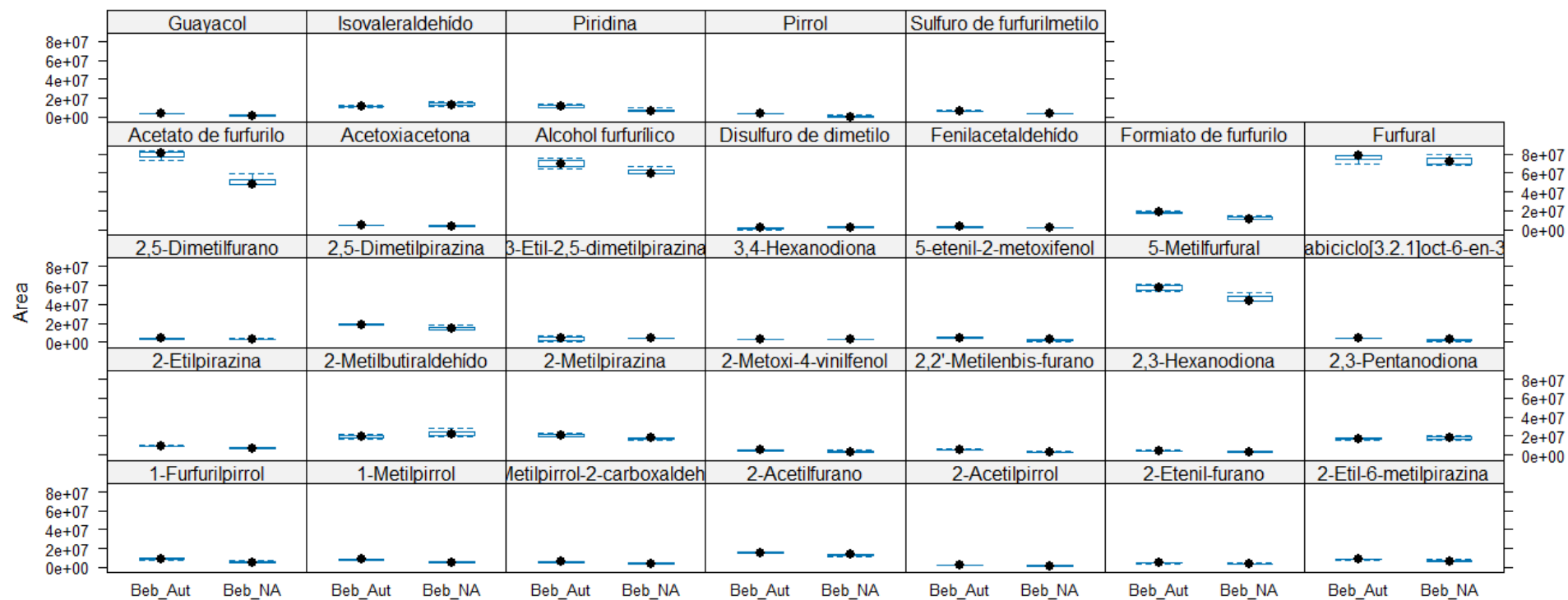
Gráficos de caja y bigote de los COV en el grano de café tostado



Nota. CTost\_Au: café autoclavado tostado  
 CTost\_NA: café sin autoclavar tostado

**Figura 7**

Gráficos de caja y bigote de los COV en la bebida de café



Nota. Beb\_Aut: bebida elaborada con café autoclavado  
 Beb\_NA: bebida elaborada con café sin autoclavar

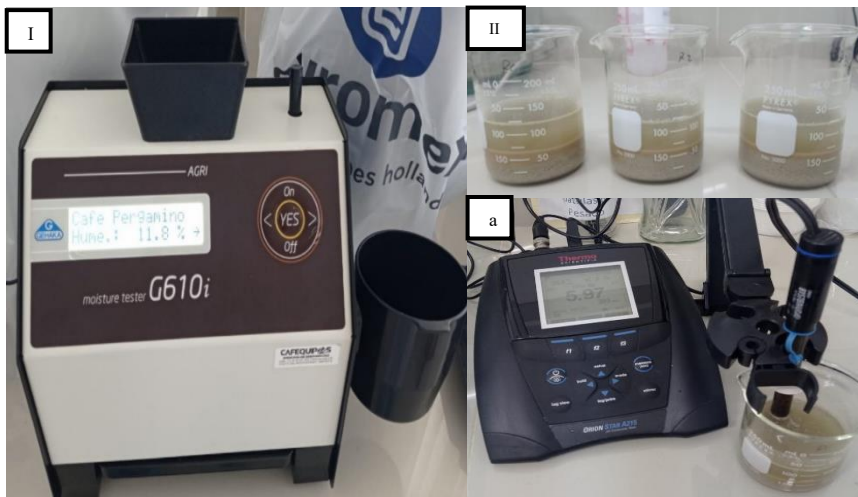
## Figura 8

*Proceso de autoclavado del grano de café, (I) secado de granos de café autoclavado en estufa y (II) a la izquierda grano de café autoclavado y a la derecha grano de café no autoclavado*



## Figura 9

*Determinación de humedad y pH en granos de café, (I) determinación de humedad en el medidor de humedad GEHAKA, (II) muestras de granos de café por triplicado para medir pH, (a) pH de granos de café en el potenciómetro Thermo Scientific*



## Figura 10

*Proceso de café para análisis sensorial, (I) tamizado de granos de café verde, (II) granos de café tostados, (III) molienda de granos de café y pesado, (IV) extracción de café expreso, (V) preparación de café americano y (VI) servido de café*



**Figura 11**

*Presentación de bandejas para prueba sensorial, (I) prueba sensorial triangular y (II) prueba sensorial afectiva*



**Figura 12**

*Prueba sensorial triangular*



**Figura 13**

*Prueba sensorial afectiva*



**Figura 14**

*Viales para los análisis cromatográficos del grano de café verde y termobloque para la microextracción en fase sólida (SPME)*

