

**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**

**EFECTO DE LA CONDICIÓN DE FERMENTACIÓN EN  
LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y  
COMPUESTOS VOLÁTILES DE LA BEBIDA DE CAFÉ**

**Autora: Bach. Maria Priscila Yoplac Tapia**

**Asesores: Mg. Segundo Grimaldo Chavez Quintana  
M.Sc. Aline Camila Caetano**

**Registro:**

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2024**

## **Dedicatoria**

A mis padres, hermanos y mi abuelo que fueron el pilar para llegar a lograr mi meta, por su constante contribución y brindarme sostenibilidad tanto emocional como espiritual, también para mis asesores y profesores que fueron parte de mi formación académica la cual fue importante para lograr esta meta.

Priscila Yoplac

## **Agradecimiento**

A Dios por brindarme la vida, cuidar de mí y mi familia cada día y darme el valor de seguir adelante con mucha felicidad y siendo perseverante siempre.

A mis padres por confiar en mí y guiarme por un buen camino con sus consejos y apoyándome en cada dificultad que tuve.

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Seva (INDESCES) por permitirme utilizar la infraestructura y equipos donde se realizó la investigación.

A mis asesores por su tiempo, paciencia, dedicación y conocimiento aportados para el desarrollo de la presente investigación.

A mis amigas, Luz Carranza, Mayte Flores, Lorena Trauco y Angie Chavarry, que me ayudaron tanto académicamente como emocionalmente para el desarrollo de la presente investigación.

**Autoridades de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez 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**

## Visto Bueno del Asesor de la Tesis



**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 Credito de la condición de fermentación en las características fisicoquímicas y compuestos volátiles de la bebida de café. del egresado Mario Priscila Yorlac Tapia 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, 22 de Mayo de 2024



  
Firma y nombre completo del Asesor  
Segundo Gonzales Chay Quimba.

## Visto Bueno del Asesor de la Tesis



**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 Efecto de la condición de fermentación en las características fisicoquímicas y compuestos volátiles de la bebida de café; del egresado María Priscila Yodac Tapia 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, 22 de mayo de 2024



Aline Camila Caetano  
Firma y nombre completo del Asesor  
Aline Camila Caetano

## Jurado Evaluador De La Tesis



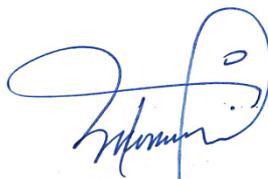
---

Dra. Elena Victoria Torres Mamani  
Presidenta



---

Mg. Guillermo Idrogo Vásquez  
Secretario



---

Mg. Robert Javier Cruzafegui Fernandez  
Vocal

# Constancia de Originalidad de la Tesis



## ANEXO 3-Q

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

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

Efecto de la condición de fermentación en las características  
fisicoquímicas y compuestos volátiles de la bebida de café.  
presentada por el estudiante ( )/egresado (x) Maria Priscila Yopalac Tepia  
de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial  
con correo electrónico institucional 7394836281@untrm.edu.pe

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

- a) La citada Tesis tiene 14 % 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, 16 de mayo del 2024

[Signature]  
SECRETARIO

[Signature]  
VOCAL

[Signature]  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....  
.....

## Reporte Turnitin

### EFECTO DE LA CONDICIÓN DE FERMENTACIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y COMPUESTOS VOLÁTILES DE LA BEBIDA DE CAFÉ

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

**14%**

INDICÉ DE SIMILITUD

**14%**

FUENTES DE INTERNET

**4%**

PUBLICACIONES

**4%**

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

**1**

**hdl.handle.net**

Fuente de Internet

**5%**

**2**

**repositorio.untrm.edu.pe**

Fuente de Internet

**3%**

**3**

**es.scribd.com**

Fuente de Internet

**1%**

**4**

**Submitted to Corporación Universitaria Remington**

Trabajo del estudiante

**<1%**

**5**

**Submitted to Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas**

Trabajo del estudiante

**<1%**

**6**

**revistas.untrm.edu.pe**

Fuente de Internet

**<1%**

**7**

**docplayer.es**

Fuente de Internet

**<1%**

**8**

**repositorio.unas.edu.pe**

Fuente de Internet

**<1%**

  
Dra. Elena Victoria Torres Mamani

# Acta de Sustentación de la Tesis



UNTRM

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

## ANEXO 3-S

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

En la ciudad de Chachapoyas, el día 27 de Mayo del año 2024, siendo las 15:30 horas, el aspirante: MARIA PRISCILA YOPLAS TAPIA, asesorado por

Mg. SEGUNDO GRIMALDO CAAVEZ QUINTANA defiende en sesión pública  
M.Sc. AUNE CAMILA CAETANO  
presencial (X) / a distancia ( ) la Tesis titulada: EFFECTO DE LA CONDICIÓN DE FER-

MENTACIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y COMPUESTOS VOLÁTILES DE LA BEBIDA DE CAFÉ, para obtener el Título

Profesional de INGENIERA AGROINDUSTRIAL, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: ELENA VICTORIA TORRES HAMANI

Secretario: GUILERMO TORRES VÁSQUEZ

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.

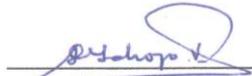
Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

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 16:10 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

  
SECRETARIO

  
VOCAL

  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

## Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Autoridades de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.....	iv
Visto Bueno del Asesor de la Tesis.....	v
Visto Bueno del Asesor de la Tesis.....	vi
Jurado Evaluador De La Tesis.....	vii
Constancia de Originalidad de la Tesis .....	viii
Reporte Turnitin .....	ix
Acta de Sustentación de la Tesis .....	x
Índice .....	xi
Índice de Tablas .....	xii
Índice de Figuras.....	xiii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>II. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
2.1. Material de estudio .....	19
2.2. Lugar de ejecución.....	19
2.3. Análisis fisicoquímicos .....	19
2.3.1. Humedad .....	19
2.3.2. pH.....	20
2.3.3. Acidez titulable .....	20
2.3.4. Actividad Antioxidante por el método DPPH .....	20
2.3.5. Determinación de los COV en la bebida de café por SPME/GC-MS.....	20
<b>III. RESULTADOS .....</b>	<b>22</b>
3.1. Humedad .....	22
3.2. pH de la bebida de café .....	22
3.3. Acidez titulable .....	23
3.4. Capacidad antioxidante por el método DPPH .....	24
3.5. COV en la bebida de café por SPME/GC-MS .....	25
<b>IV. DISCUSIÓN.....</b>	<b>33</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>37</b>
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>38</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>46</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1. pH y acidez titulable de la bebida de café.....	23
Tabla 2. Compuestos orgánicos volátiles de la bebida de café determinados por SPME/GC-MS.....	28

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Contenido de humedad final del café pergamino.....	22
<b>Figura 2.</b> pH de la bebida de café fermentado con adición de levadura.....	23
<b>Figura 3.</b> Diagrama de caja y bigote de la capacidad antioxidante de la bebida de café .....	25
<b>Figura 4.</b> Mapa de calor de los COV identificados en la bebida de café.....	32
<b>Figura 5.</b> Preparación de las muestras de café según las condiciones de fermentación .....	46
<b>Figura 6.</b> Fermentación de las muestras de café.....	46
<b>Figura 7.</b> Proceso de lavado de las muestras de café.....	47
<b>Figura 8,</b> Proceso de secado de las muestras de café.....	47
<b>Figura 9.</b> Determinación del porcentaje de humedad de las muestras de café.....	48
<b>Figura 10.</b> Proceso de tostado de las muestras de café.....	48
<b>Figura 11</b> Preparación del café expreso para los análisis fisicoquímicos y de COV....	49
<b>Figura 12.</b> Evaluación del pH de las bebidas de café.....	49
<b>Figura 13.</b> Evaluación de la acidez titulable de las bebidas de café.....	50
<b>Figura 14.</b> Determinación de la capacidad antioxidante de las bebidas de café .....	50
<b>Figura 15.</b> Extracción (SPME) e análisis de los COV de las bebidas de café por GC-MS .....	51

## Resumen

El género *Coffea* pertenece a la familia *Rubiaceae* y las especies *C. arabica* (arábica) y *C. canephora* (robusta) son las más cultivadas a nivel mundial. La fermentación, juntamente con el tostado, son procesos postcosecha que deben ser controlados como parte de la producción de café, siendo importante desarrollar cultivos iniciadores que proporcionen propiedades, tanto microbianas como bioquímicas, apropiadas para realizar eficientemente la fermentación. El tiempo de fermentación es un parámetro importante que se debe controlar para obtener un café de calidad. En la presente investigación se tuvo como objetivo evaluar el efecto de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* utilizada como inóculo en la fermentación del café arábica (*Coffea arabica*) en las características fisicoquímicas de los granos y en el perfil de compuestos orgánicos volátiles (COV) de la bebida. Se empleó un diseño experimental completamente al azar con tres réplicas por tratamiento y una réplica por cada tiempo de fermentación sin adición de levadura que fue utilizada como control, totalizando 28 unidades experimentales. Fueron utilizados tiempos de fermentación de 100, 150, 200 y 220 horas y las dosis de levadura fueron 0, 1 y 2%. El café fue cosechado con madurez organoléptica, seleccionado, despulpado, fermentado con la aplicación de los tratamientos mencionados, lavado, secado, almacenado, tostado y la bebida de café fue preparada por la técnica expreso. Se determinó el pH, la acidez titulable, capacidad antioxidante por el método del DPPH y los COV por SPME/GC-MS. En el análisis del pH no se observó una diferencia estadística y con respecto a la acidez de la bebida mientras más bajo el pH es más alto la acidez. En la capacidad antioxidante hubo una reducción respecto al tiempo de fermentación, mientras más tiempo menor capacidad antioxidante. Los COV fueron clasificados según sus grupos funcionales en: ácido (1), alcoholes (4), aldehídos (10), cetonas (6), ésteres (15), éteres (2), fenoles (4), furanos (7), pirazinas (8), piridina (1), pirroles (6) y otros (5).

**Palabras claves:** café, características fisicoquímicas, COV, fermentación, levadura.

## Abstract

The *Coffea* genus belongs to the Rubiaceae family and the species *C. arabica* (arabica) and *C. canephora* (robusta) are the most cultivated worldwide. Fermentation, together with roasting, are postharvest processes that must be controlled as part of coffee production, making it important to develop starter cultures that provide properties, both microbial and biochemical, appropriate to efficiently carry out fermentation. Fermentation time is an important parameter that must be controlled to obtain quality coffee. The objective of this research was to evaluate the effect of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* used as inoculum in the fermentation of Arabica coffee (*Coffea arabica*) on the physicochemical characteristics of the beans and on the volatile organic compound (VOC) profile of the beverage. A completely randomized experimental design was used with three replicates per treatment and one replicate for each fermentation time without addition of yeast that was used as a control, totaling 28 experimental units. Fermentation times of 100, 150, 200 and 220 hours were used and the yeast doses were 0, 1 and 2%. The coffee was harvested with organoleptic maturity, selected, pulped, fermented with the application of the aforementioned treatments, washed, dried, stored, roasted and the coffee drink was prepared by the espresso technique. The pH, titratable acidity, antioxidant capacity were determined by the DPPH method and VOCs by SPME/GC-MS. In the pH analysis, no statistical difference was observed and with respect to the acidity of the drink, the lower the pH, the higher the acidity. In the antioxidant capacity there was a reduction with respect to the fermentation time, the longer the time, the lower the antioxidant capacity. VOCs were classified according to their functional groups into: acid (1), alcohols (4), aldehydes (10), ketones (6), esters (15), ethers (2), phenols (4), furans (7), pyrazines (8), pyridine (1), pyrroles (6) and others (5).

**Keywords:** coffee, physicochemical characteristics, VOC, fermentation, yeast.

## I. INTRODUCCIÓN

El café en la actualidad es uno de los cultivos de gran importancia en la economía. El género *Coffea* pertenece a la familia *Rubiaceae*, pudiendo ser encontradas más de 103 especies distribuidas por todo el mundo, siendo el *C. arabica* (arábica) y *C. canephora* (robusta) las especies más cultivadas a nivel mundial, con un aproximado de 70% y 30% del mercado, respectivamente (Bastian et al., 2021). Brasil es el país que tiene más del tercio de la producción como también de la exportación mundial, seguido de Vietnam, Indonesia y Colombia (Hall et al., 2022).

El término “café de especialidad” en el mercado del café se refiere a la bebida que posee alta calidad, su composición química va depender de su proceso de postcosecha y principalmente de los cuidados en la fermentación. Para poder estar en el mercado el café esta calidad es considerada un criterio consolidado (Alcántara et al., 2021). La *Specialty Coffee Association* (SCA) estableció metodologías para ayudar a los productores a evaluar la calidad sensorial de sus productos y, esencialmente, para un comercio justo como también atractivo. El método que es desarrollado por SCA consiste en evaluar la prueba de cata considerando los atributos de fragancia, acidez, sabor, cuerpo, regusto, uniformidad, dulzura, equilibrio, limpieza y puntuación (Carvalho et al., 2023).

El sabor y el aroma del café se da primordialmente por la presencia de contribuyentes químicos volátiles, como aldehídos, ácidos, cetonas, así como los compuestos no volátiles, tales como proteínas, azúcares, ácidos grasos, aminoácidos y compuestos fenólicos. Las enzimas producidas por los microorganismos epífitos (bacterias, levaduras y hongos que tienen capacidad de crecer en el interior de los tejidos de las plantas) son capaces de degradar sustancias pécticas y esto sucede en el proceso de la fermentación (Bressani et al., 2018). Además, el cambio sensorial así como la composición química del café, va a depender del manejo aplicado al grano en el proceso de fermentación (Braga et al., 2023).

Para que la fermentación sea un proceso industrial controlado es importante desarrollar cultivos iniciadores microbianos que tengan propiedades, tanto microbianas como bioquímicas, apropiadas para que sean capaces de realizar eficientemente la fermentación y con ello también generar un café de alta calidad (Elhalis et al., 2021). Los géneros de levadura más reportados en la fermentación del café son *Candida*, *Pichia*, *Hanseniaspora*

y *Saccharomyces*. Ellas son las principales encargadas del aroma que posee el café (Cruz-O'Byrne et al., 2023).

Existen métodos innovadores en la fermentación anaeróbica. De acuerdo al método aplicado, serán generados cambios en el grano del café y un sabor significativo, asimismo va cambiar el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante (Várady et al., 2022). Cuando se modifica el medio de fermentación por levaduras, se debe tener en cuenta el proceso de fermentación que se va hacer y también el tipo de inóculo que se va utilizar (Mota et al., 2020).

Ambas fermentaciones, aeróbica y anaeróbica, afectan la acidez, el pH y también la concentración de compuestos orgánicos volátiles (COV). Los principales grupos de COV que representan el perfil aromático del café son las cetonas, aldehídos, alcoholes, pirazinas, ésteres, ácidos, furanos, compuestos fenólicos y compuestos nitrogenados (Galarza & Figueroa, 2022) que son formados, principalmente, por azúcares reductores y compuestos nitrogenados. Sin embargo, largos tiempos de fermentación pueden llevar a una disminución de los COV (Bodner et al., 2019). Investigadores encontraron 17 volátiles en los granos de café frescos (sin fermentar) y fermentados, incluyendo a las clases de compuestos: ácidos orgánicos, aldehídos, alcoholes, terpenos, alcanos y aromáticos (Oliveira Junqueira et al., 2019).

Al optimizar el proceso de fermentación de los granos de café para mejorar la calidad sensorial con métodos de procesamiento que promueven la reducción de la cafeína y de compuestos fenólicos, también implica en la formación de COV, además de los precursores del sabor y ácidos orgánicos (Febrianto & Zhu, 2023). Existen levaduras que se adicionan en la fermentación de café semiseco como la *Saccharomyces cerevisiae* (CCMA 0200 y CCMA 0543) por un tiempo de 12 días, donde encontraron que el aislado CCMA 0543 es lo más indicado y apropiado para usar en la fermentación de café para que tenga una buena calidad en taza (Ribeiro et al., 2017) y puntajes mayores a 84 en el análisis sensorial (Bressani et al., 2021).

El café expreso es una bebida muy consumida, por ello que se ejecutó el presente trabajo en base a la problemática que fue la condición de fermentación en las características fisicoquímicas y en los COV de la bebida elaborada con café arábica. En el proceso de fermentación consolida propiedades de un producto, los factores más influyentes son la

presencia de levaduras, el tiempo y temperatura; por este motivo en la investigación se propuso la evaluación fisicoquímica y determinación de COV de la bebida de café (*C. arabica*) fermentado anaeróbicamente con diferentes concentraciones de *Saccharomyces cerevisiae* y tiempos de fermentación.

## **II. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **2.1. Material de estudio**

Se utilizó 42 kg del café (*Coffea arabica* L.) de la variedad Typica del distrito de Pisuquia, provincia de Luya, región Amazonas, para el proceso de fermentación y se empleó la levadura comercial *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada.

### **2.2. Lugar de ejecución**

La cosecha, selección, despulpado, fermentación, lavado y secado del café se realizó en el distrito de Pisuquia. La cosecha se realizó en canastas y luego el café fue trasladado en sacos al lugar de la selección. Se hizo un lavado y se seleccionó solo los granos con madurez fisiológica que presentaron color rojo. Estos granos pasaron por un despulpador a motor para separar el grano de la cáscara. Se pesó, en recipientes plásticos (fermentador), 1.5 kg del café despulpado para la fermentación y se adicionó la levadura en dos concentraciones, 1 y 2%, lo que equivale a 15 y 30 g/1.5 kg de café por fermentador. La fermentación fue realizada por 100, 150, 200 y 220 horas, con tres replicas para ambas concentraciones de levadura. Además, se incluyeron los controles sin adición de levadura para los cuatro tiempos de fermentación. Pasado el tiempo de fermentación, se lavó el grano de café para luego secarlo en un secador solar hasta alcanzar la humedad de 10.5 al 12.5. Los granos de café secos se almacenaron en bolsas plásticas con cierre hermético y llevados al laboratorio de Ceincafé de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza Amazonas para los análisis fisicoquímicos y de COV de la bebida de café expreso.

### **2.3. Análisis fisicoquímicos**

Para la medición de los análisis fisicoquímicos en grano seco y también análisis fisicoquímicos y compuestos volátiles de la bebida de café expreso se utilizó los siguientes métodos, técnicas y procedimientos.

#### **2.3.1. Humedad**

El contenido de humedad fue determinado agregando 100 g de café pergamino en el determinador de humedad (I- TERMO16 3 M, BEL). Los análisis fueron realizados por duplicado.

### **2.3.2. pH**

El pH fue determinado utilizando el pHmetro digital (modelo Checker plus HANNA), basado en la metodología descrita por Vega et al. (2021). Para ello se pesó 13 g de café molido para preparar la bebida de café expreso en la cafetera (QUALITY EXPRESS) con 100 mL de agua a 90 °C. Se esperó que la bebida se enfríe hasta aproximadamente 30 a 40 °C y, luego se determinó el pH. Se realizaron tres repeticiones de cada muestra.

### **2.3.3. Acidez titulable**

Para evaluar la acidez titulable de la bebida de café expreso se siguió la metodología descrita por Rao & Fuller (2018). Consistió en utilizar un pHmetro para titular con NaOH 0.1N hasta alcanzar un pH de 6 y luego a 8. Teniendo en cuenta el volumen del gasto. La bebida estuvo en una temperatura de 30 a 40 °C con un volumen de 40 mL. Los resultados se expresaron con el promedio del gasto de NaOH 0.1N  $\pm$  desviación estándar. Se realizaron tres repeticiones de cada muestra.

### **2.3.4. Actividad Antioxidante por el método DPPH**

La actividad eliminadora de radicales DPPH se determinó empleando una solución de DPPH en etanol a una absorbancia de 1 a 517 nm, utilizando un espectrofotómetro UV/Vis (modelo portable peak USA T-9200). Las bebidas de café se diluyeron (1:60, v/v) en agua destilada antes del análisis. Se agregó 50  $\mu$ L de muestra diluida a 950  $\mu$ L de solución DPPH, y se mezclaron completamente. Finalmente, la absorbancia se midió a 517 nm después de 30 min de incubación a temperatura ambiente usando etanol como blanco. La capacidad antioxidante fue expresada en miligramos de equivalentes de Trolox por mililitro de la bebida de café expreso (mg TE/mL).

### **2.3.5. Determinación de los COV en la bebida de café por SPME/GC-MS**

Para la determinación de los COV de la bebida de café, se utilizó el método de preparación expreso transfiriendo 4.5 mL de la bebida a un vial de 20 mL. Se realizó la microextracción en fase sólida con una fibra de Divinilbenceno/Carboxen/Polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS) y un tiempo de extracción de 5 min a 50 °C, según Carcea et al. (2023). La fibra fue insertada en el puerto de inyección del GC-MS por 5 min a 250 °C en modo splitless (Zhang et al., 2022). Los

COV extraídos fueron separados en una columna capilar DB-5MS UI (60 m × 250 μm × 1 μm) instalada en un cromatógrafo de gases (7890B GC System, Agilent Technologies®) acoplado a un detector de masas (5977B MSD, Agilent Technologies®), utilizando el gas helio con un flujo de 1.2 mL.min<sup>-1</sup>. El horno estuvo inicialmente a 40 °C durante 2 min, alcanzó los 220 °C subiendo 3 °C.min<sup>-1</sup>, luego subió 5 °C.min<sup>-1</sup> hasta 240 °C y se mantuvo por 5 min. La fuente de iones y el detector de masas (cuadrupolo) estuvieron a 280 °C y 150 °C, respectivamente. Se utilizó una corriente iónica total (70 eV) en un rango de masa de 10 a 700 amu (unidad atómica de masa) en modo scan. Los análisis se realizaron por duplicado.

Los COV fueron identificados por comparación con la Biblioteca NIST 17 y la identidad de cada uno de ellos fue confirmada por el cálculo del índice de retención utilizando el estándar de n-alcano (C<sub>8</sub>-C<sub>20</sub>).

#### **2.4. Análisis de datos**

Los resultados obtenidos fueron evaluados con análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias con la prueba de Tukey con una probabilidad de error de 5%. Se utilizaron los softwares Orange 3.36.2 para analizar los COV en un mapa de calor y también el SPSS V.26 para los gráficos del contenido de humedad, pH y actividad antioxidante.

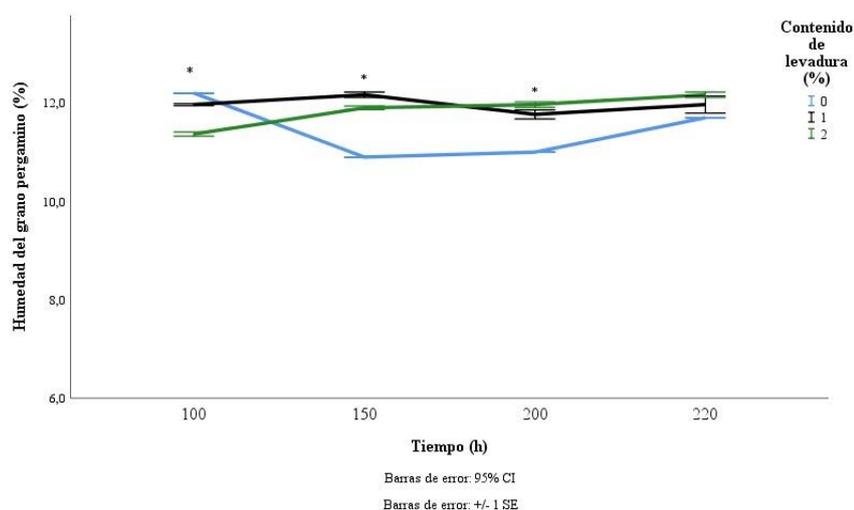
### III. RESULTADOS

#### 3.1. Humedad

En la Figura 1 se muestra el contenido de humedad respecto al tiempo de fermentación y el porcentaje de levadura añadido. Aunque el proceso de secado tuvo por finalidad reducir la humedad a menos de 12.5% de todos los tratamientos, se observa que el café fermentado sin adición de levadura facilita la deshidratación obteniendo valores finales menores al café fermentado con adición de levadura. Hasta las 200 h de fermentación, se observa diferencias significativas en el contenido de humedad de los tres tratamientos ( $p < 0.05$ ).

**Figura 1**

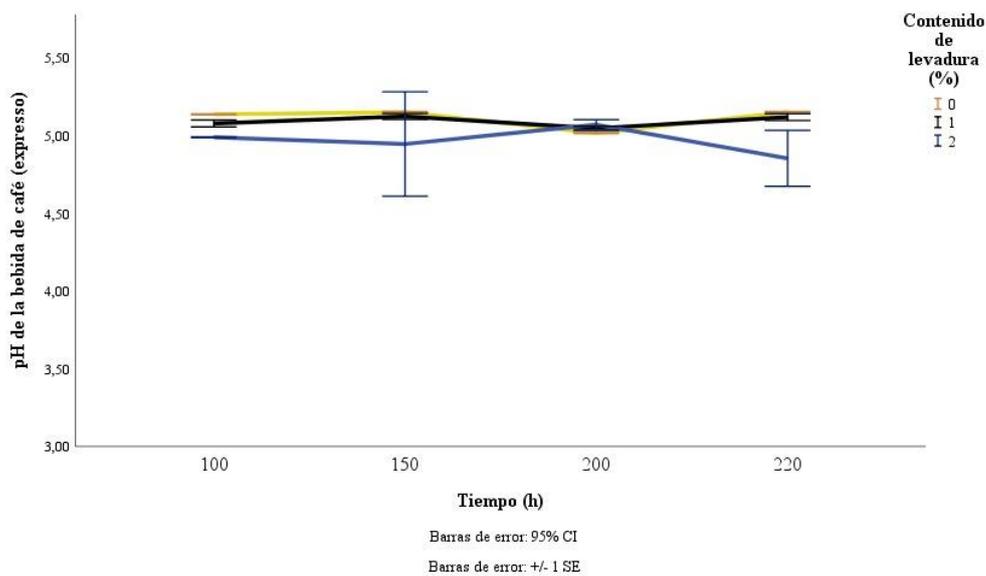
*Contenido de humedad final del café pergamino*



*Nota.* \* al menos un tratamiento es estadísticamente diferente ( $p < 0.05$ ).

#### 3.2. pH de la bebida de café

En la Figura 2 se observa el pH de la bebida de café expreso de cada tratamiento. Aunque no hay diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ) entre los tratamientos, a mayor dosis de levadura empleada en la fermentación, menor es el pH de la bebida, excepto para el café fermentado durante 200 h, en donde los valores de pH son similares entre las diferentes concentraciones de levadura empleada.

**Figura 2***pH de la bebida de café fermentado con adición de levadura***3.3. Acidez titulable**

En la Tabla 1 se aprecia el cambio de la acidez titulable de la bebida de café cuando se añade la levadura durante la fermentación. El pH es inversamente proporcional a la acidez titulable, o sea, cuanto menor es el pH, mayor es la acidez titulable que puede ser evidenciada por el mayor gasto de la solución de NaOH para llegar al mismo pH (6 y 8). Los tratamientos con levadura añadida presentaron mayor acidez titulable.

**Tabla 1***pH y acidez titulable de la bebida de café*

Tiempo de fermentación (h)	Contenido de levadura (%)	pH	Acidez total	
			pH = 6 (mL 0.1N NaOH)	pH = 8 (mL 0.1N NaOH)
100	0	5.14±0.01 <sup>a</sup>	2.70±0.00 <sup>bc</sup>	6.10±0.00 <sup>e</sup>
	1	5.08±0.07 <sup>a</sup>	3.04±0.50 <sup>ab</sup>	6.86±0.47 <sup>a-e</sup>
	2	4.99±0.01 <sup>a</sup>	3.44±0.10 <sup>a</sup>	7.34±0.15 <sup>a</sup>
150	0	5.15±0.01 <sup>a</sup>	2.73±0.21 <sup>bc</sup>	6.53±0.40 <sup>b-c</sup>
	1	5.12±0.06 <sup>a</sup>	2.67±0.26 <sup>bc</sup>	6.53±0.35 <sup>c-e</sup>
	2	4.95±1.01 <sup>a</sup>	2.29±0.11 <sup>c</sup>	6.24±0.21 <sup>de</sup>
200	0	5.02±0.01 <sup>a</sup>	3.00±0.00 <sup>ab</sup>	6.43±0.06 <sup>b-e</sup>

Tiempo de fermentación (h)	Contenido de levadura (%)	pH	Acidez total		
			pH = 6 (mL 0.1N NaOH)	pH = 8 (mL 0.1N NaOH)	
	1	5.05±0.04 <sup>a</sup>	3.19±0.11 <sup>ab</sup>	6.92±0.16 <sup>a-d</sup>	
	2	5.07±0.10 <sup>a</sup>	3.22±0.48 <sup>ab</sup>	7.12±0.56 <sup>a-c</sup>	
	0	5.15±0.01 <sup>a</sup>	2.73±0.21 <sup>bc</sup>	6.53±0.40 <sup>b-e</sup>	
	220	1	5.12±0.07 <sup>a</sup>	3.33±0.51 <sup>ab</sup>	7.20±0.57 <sup>ab</sup>
	2	5.08±0.12 <sup>a</sup>	2.94±0.43 <sup>a-c</sup>	6.59±0.31 <sup>a-e</sup>	

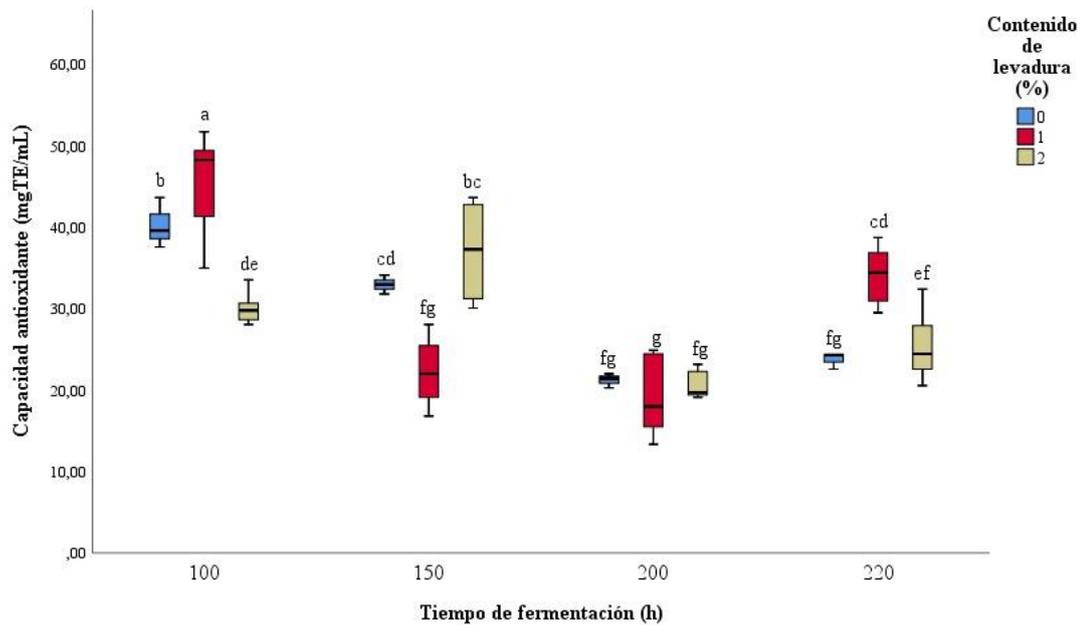
*Nota.* Resultados expresados como promedio  $\pm$  desviación estándar. Letras minúsculas iguales en la misma columna indican que no hay diferencia estadísticamente significativa por la prueba de Tukey ( $p > 0.05$ ).

### 3.4. Capacidad antioxidante por el método DPPH

En la Figura 3 se evidencia que existieron diferencias estadísticas significativas de capacidad antioxidante de la bebida de café elaborada con café fermentado, tanto con respecto al tiempo de fermentación como entre tratamientos. A medida que transcurrió el tiempo de fermentación entre las 100 y 220 h, la capacidad antioxidante de la bebida de café disminuyó cuando se usó levadura al 1% o no se usó. Sin embargo, con 2% de levadura, no se encontraron diferencias significativas para ese periodo. La incorporación de 1% de levadura aumentó de manera significativa la capacidad antioxidante de la bebida de café fermentado a las 100 y 220 h, con respecto al control y la adición de 2% de levadura.

**Figura 3**

*Diagrama de caja y bigote de la capacidad antioxidante de la bebida de café*



*Nota.* Letras minúsculas iguales indican que no hay diferencia estadísticamente significativa por la prueba de Tukey ( $p > 0.05$ ).

### 3.5. COV en la bebida de café por SPME/GC-MS

Se identificaron 58 COV en la bebida de café presentes en distinta composición según tratamiento. Los compuestos volátiles fueron agrupados según su función química en: ácido (1), alcoholes (4), aldehídos (10), cetonas (6), ésteres (15), éteres (2), fenoles (4), furanos (7), pirazinas (8), piridina (1), pirroles (6) y otros (5). Conforme se observa en la Tabla 2.

El ácido 4-hidroxi-butanoico fue el único ácido detectado en las bebidas de café evaluadas, estando presente en las bebidas de café fermentadas a 100, 150 y 200 horas con adición de levadura del 1%. Los alcoholes detectados fueron el alcohol isoamílico, 2-metil-1-butanol, linalool y el alcohol furfurílico, siendo que sus concentraciones aumentaron hasta las 200 horas y luego hubo una tendencia a bajar su contenido. Los aldehídos presentes en las muestras fueron el hexanal, isovaleraldehído, 2-metilbutiraldehído, benzaldehído, 1-etil-1H-pirrol-2-carbaldehído, furfural, 3-furaldehído y 5-metilfurfural. El 5-metilfurfural fue el aldehído encontrado en mayor concentración en todos los tratamientos, mientras que el furfural disminuyó con relación al tiempo de fermentación.

El 3-furaldehído estuvo presente solamente en las bebidas del control de 150 horas. Entre las cetonas detectadas, 2-3-pentanediona estuvo presente en mayor cantidad en las bebidas de café fermentadas sin adición de levadura. La 3-hexanona fue detectada solamente en las bebidas control, mientras la 3-4-hexanodiona y la 2-3-hexanodiona no fueron detectadas en las bebidas de café fermentadas con adición de levadura al 2%. La acetoxiacetona estuvo presente en todas las bebidas y el 3-n-Propil-5-metilhexan-2-ona, presente solamente en bebidas de café fermentados con adición del 1 y 2% de levadura. Fueron 15 los ésteres detectados, siendo que el formato de isopentilo, 2-metilbutirato de etilo, isovalerato de etilo, isobutirato de etilo, acetato de isobutilo, butirato de etilo, propionato de etilo y isovalerato de furfurilo estuvieron presentes solamente en bebidas de café que fueron fermentadas con adición de levadura. El acetato de isoamilo y acetato de 2-metilbutilo fueron encontrados solamente en las bebidas de café fermentados con adición de levadura en ambas concentraciones. El acetato de etilo, acetato de 2-oxobutil, acetato de furfurilo, formato de furfurilo y propionato de furfurilo fueron detectados en todas las bebidas. Se detectaron 2 éteres, siendo ellos el 2-(etoximetil)furano presente en más cantidad en bebidas de café fermentadas con adición de levadura y el éter difurfurílico presentes en todas las bebidas. Entre los cuatro fenoles detectados, el fenol, el guayacol y 2-metoxi-4-vinilfenol estuvieron presentes en todas las bebidas, mientras que el 5-etenil-2-metoxifenol solamente en las bebidas de café fermentadas con adición de levadura. Los furanos 3-metilfurano, 2-metilfurano, 2,5-dimetilfurano y 5-metil-2,2'-metilendi-furano no estaban presentes en las bebidas de café fermentadas con adición de 2% de levadura mientras que los COV 2-acetilfurano, sulfuro de furfurilmetilo y 2,2'-metilenbis-furano se detectaron en todas las bebidas. Se detectaron 8 pirazinas: 2-metilpirazina, 2,5-dimetilpirazina, 2-etilpirazina, 2,3-Dimetilpirazina, 2-etil-6-metilpirazina, 3-etil-2,5-dimetilpirazina y 3,5-dietil-2-metilpirazina, presentes en todas las bebidas. La 2,6-dimetilpirazina estuvo presente solamente en las bebidas de café fermentadas a 150 horas con adición de levadura en ambas concentraciones. El COV piridina fue el único compuesto de esta clase (piridinas) identificado, se observó una reducción en la bebida de café que fue fermentado con levadura al 1% con el aumento del tiempo de fermentación y sucedió lo inverso en las bebidas de control. Se detectaron 6 pirroles: 1-metilpirrol, pirrol y 1-furfurilpirrol, presentes en todas las bebidas, mientras que el N-etilpirrol, el 2-acetilpirrol y el 2-acetil-1-metilpirrol estuvieron presentes solamente en las bebidas de café fermentadas con adición de levadura. Cinco COV fueron clasificados como otros, siendo que el disulfuro de dimetilo estuvo presente solamente en

las bebidas control elaboradas con café fermentado por 200 horas. Los COV 8-oxabicyclo[3.2.1]oct-6-en-3-ona, anhídrido 2-metilbutanoico, p-anisidina y tolueno estuvieron presentes en bajas concentraciones en las bebidas de café fermentadas con adición de levadura.

La Figura 4 permite observar los clusters según la abundancia de los COV por tratamiento. En general, se observa que el grupo de compuestos más abundantes está conformado por un alcohol, tres aldehídos, una piridina, dos ésteres y un éter (región más amarilla del mapa de calor); el segundo grupo en abundancia está compuesto por dos aldehídos, dos pirazinas, una cetona, un éster, dos furanos y un pirrol. En este último se observa un subgrupo conformado por los COV 3-furaldehído y 2-metilfurano, predominantes en las bebidas obtenidas de café fermentado sin adición de levadura. Los demás compuestos, en concentraciones muy bajas, conforman un tercer cluster (más azul).

**Tabla 2***Compuestos orgánicos volátiles de la bebida de café determinados por SPME/GC-MS*

Nombre de los compuestos	Tratamientos											
	1% levadura				2% levadura				0% levadura (control)			
	100 h	150 h	200 h	220 h	100 h	150 h	200 h	220 h	100 h	150 h	200 h	220 h
<b>Ácidos</b>												
Ácido 4-hidroxibutanoico	0.69%	0.76%	0.56%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>Alcoholes</b>												
Alcohol isoamílico	0.89%	1.65%	1.76%	1.14%	1.58%	1.59%	2.18%	2.48%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2-Metil-1-butanol	0.81%	1.10%	1.05%	0.73%	1.30%	1.14%	1.26%	1.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Linalool	0.98%	0.69%	1.02%	1.11%	1.44%	1.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.33%	1.66%
Alcohol furfurílico	14.39%	15.03%	14.41%	14.69%	12.67%	12.84%	13.18%	12.74%	17.28%	15.86%	14.97%	0.00%
<b>Aldehídos</b>												
Hexanal	0.52%	0.69%	0.68%	0.82%	0.72%	0.75%	1.29%	0.68%	0.91%	0.90%	1.03%	1.22%
Isovaleraldehído	1.59%	3.07%	2.63%	2.87%	2.20%	1.72%	1.97%	1.72%	3.43%	2.83%	1.93%	3.13%
2-Metilbutiraldehído	2.13%	4.41%	3.80%	4.25%	3.10%	2.59%	2.84%	2.26%	6.26%	4.34%	2.81%	4.54%
Benzaldehído	0.40%	0.37%	0.38%	0.48%	0.49%	0.46%	0.57%	0.48%	0.56%	0.54%	0.57%	0.61%
1-Metilpirrol-2-carboxaldehído	1.21%	0.86%	1.19%	1.21%	1.39%	1.18%	1.32%	1.19%	1.43%	1.36%	1.53%	1.73%
Fenilacetaldehído	0.34%	0.00%	0.31%	0.33%	0.39%	0.31%	0.39%	0.38%	0.38%	0.42%	0.48%	0.52%
1-Etil-1H-pirrol-2-carbaldehído	0.52%	0.00%	0.39%	0.00%	0.70%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.52%	0.00%	0.00%
Furfural	7.92%	5.33%	6.61%	5.87%	8.44%	0.00%	6.27%	6.22%	11.7%	0.00%	8.54%	0.00%
3-Furaldehído	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	4.51%	0.00%	0.00%	0.00%	7.94%	0.00%	0.00%
5-Metilfurfural	6.74%	4.82%	5.68%	5.71%	7.69%	4.94%	6.27%	6.46%	9.41%	7.19%	8.28%	8.64%
<b>Cetonas</b>												
2,3-Pentanediona	1.30%	1.75%	1.78%	1.69%	1.84%	1.03%	1.54%	1.14%	2.82%	2.12%	1.73%	2.22%

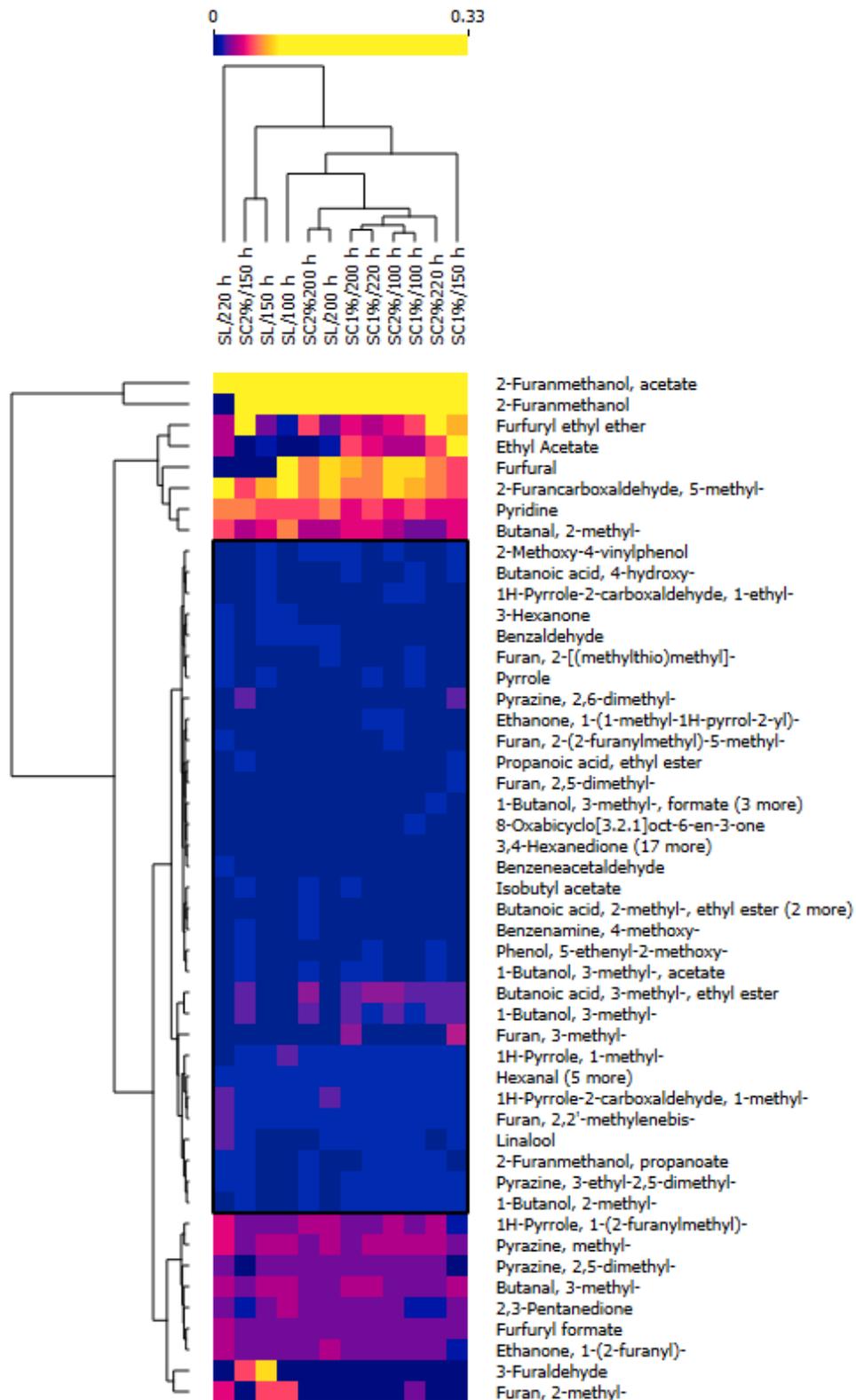
Nombre de los compuestos	Tratamientos											
	1% levadura				2% levadura				0% levadura (control)			
	100 h	150 h	200 h	220 h	100 h	150 h	200 h	220 h	100 h	150 h	200 h	220 h
3-Hexanona	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.63%	0.57%	0.00%	0.64%
3,4-Hexanodiona	0.27%	0.33%	0.28%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.24%	0.00%
2,3-Hexanodiona	0.36%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.35%	0.00%
Acetoxiacetona	1.04%	0.97%	0.77%	0.85%	0.78%	0.71%	0.76%	0.73%	1.03%	0.97%	0.91%	1.05%
3-n-Propil-5-metilhexan-2-ona	0.00%	0.48%	0.00%	0.46%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>Ésteres</b>												
Acetato de 2-metilbutilo	0.28%	0.00%	0.31%	0.25%	0.25%	0.40%	0.43%	0.29%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Acetato de isoamilo	0.41%	0.36%	0.72%	0.55%	0.40%	0.77%	0.93%	0.72%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Formato de isopentilo	0.00%	0.44%	0.39%	0.30%	0.28%	0.46%	0.47%	0.52%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2-Metilbutirato de etilo	0.33%	0.00%	0.48%	0.43%	0.49%	0.44%	0.55%	0.32%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Isovalerato de etilo	1.78%	1.84%	2.41%	2.67%	2.73%	2.29%	3.00%	1.95%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Acetato de etilo	2.55%	8.95%	5.09%	3.74%	3.23%	0.00%	0.00%	4.81%	0.00%	1.42%	1.09%	2.65%
Propionato de etilo	0.00%	0.85%	0.00%	0.00%	0.00%	0.52%	0.00%	0.47%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Isobutirato de etilo	0.00%	0.23%	0.38%	0.00%	0.29%	0.38%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Acetato de isobutilo	0.00%	0.00%	0.53%	0.47%	0.00%	0.56%	0.52%	0.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Butirato de etilo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.35%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Acetato de 2-oxobutil	0.27%	0.00%	0.25%	0.24%	0.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.21%	0.23%	0.25%	0.26%
Acetato de furfurilo	19.2%	13.0%	17.2%	19.5%	17.8%	22.4%	22.7%	18.4%	16.2%	22.6%	25.0%	33.1%
Isovalerato de furfurilo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.23%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Formato de furfurilo	2.49%	2.12%	2.19%	2.36%	1.74%	2.10%	1.88%	1.58%	2.38%	2.30%	2.04%	2.56%
Propionato de furfurilo	0.59%	0.48%	0.49%	0.64%	0.67%	0.89%	0.92%	0.76%	0.00%	0.00%	0.00%	0.98%
<b>Éteres</b>												
2-(Etoximetil)furano	5.16%	6.96%	3.86%	3.42%	4.43%	9.24%	4.69%	8.72%	0.63%	1.65%	1.98%	3.20%

Nombre de los compuestos	Tratamientos											
	1% levadura				2% levadura				0% levadura (control)			
	100 h	150 h	200 h	220 h	100 h	150 h	200 h	220 h	100 h	150 h	200 h	220 h
Éter difurfurílico	0.20%	0.16%	0.20%	0.00%	0.25%	0.34%	0.43%	0.27%	0.12%	0.18%	0.30%	0.34%
<b>Fenoles</b>												
Fenol	0.35%	0.37%	0.35%	0.37%	0.32%	0.43%	0.58%	0.44%	0.38%	0.45%	0.36%	0.47%
Guayacol	0.59%	0.57%	0.61%	0.70%	0.70%	0.96%	1.00%	0.88%	0.53%	0.59%	0.82%	1.09%
5-Etenil-2-metoxifenol	0.00%	0.00%	0.00%	0.83%	0.00%	1.03%	0.00%	0.99%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2-Metoxi-4-vinilfenol	0.45%	0.66%	0.74%	0.00%	0.86%	0.28%	0.84%	0.29%	0.00%	0.69%	0.76%	0.00%
<b>Furanos</b>												
3-Metilfurano	0.00%	3.98%	2.55%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2-Metilfurano	1.73%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.42%	4.72%	0.00%	4.34%
2,5-Dimetilfurano	0.00%	0.54%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2-Acetilfurano	1.97%	1.40%	1.61%	1.61%	2.09%	1.60%	1.86%	1.56%	2.44%	2.09%	2.65%	2.63%
Sulfuro de furfurilmetilo	0.79%	0.00%	0.42%	0.47%	0.47%	0.50%	0.00%	0.00%	0.29%	0.00%	0.58%	0.82%
2,2'-Metilenbis-furano	1.16%	0.63%	0.78%	0.98%	1.08%	1.30%	1.29%	1.16%	0.86%	1.05%	1.29%	1.69%
5-Metil-2,2'-metilendi-furano	0.38%	0.27%	0.00%	0.43%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.29%	0.33%	0.00%	0.00%
<b>Pirazinas</b>												
2-Metilpirazina	2.82%	2.49%	2.45%	2.56%	2.53%	2.50%	2.44%	2.88%	2.58%	3.00%	2.96%	3.66%
2,5-Dimetilpirazina	2.09%	0.00%	1.68%	1.73%	1.86%	0.00%	2.03%	2.20%	1.79%	1.78%	2.13%	2.26%
2,6-Dimetilpirazina	0.00%	1.57%	0.00%	0.00%	0.00%	1.58%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2-Etilpirazina	0.93%	0.88%	0.92%	0.97%	1.02%	0.90%	1.06%	1.21%	0.92%	0.93%	1.13%	1.18%
2,3-Dimetilpirazina	0.26%	0.00%	0.00%	0.27%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2-Etil-6-metilpirazina	0.94%	0.79%	0.89%	1.03%	1.13%	1.04%	1.22%	1.31%	0.65%	0.86%	1.19%	1.22%
3-Etil-2,5-dimetilpirazina	0.69%	0.57%	0.64%	0.77%	0.91%	0.87%	0.96%	1.09%	0.00%	0.47%	0.00%	0.79%
3,5-Dietil-2-metilpirazina	0.00%	0.18%	0.20%	0.00%	0.27%	0.00%	0.31%	0.32%	0.00%	0.00%	0.20%	0.20%

Nombre de los compuestos	Tratamientos											
	1% levadura				2% levadura				0% levadura (control)			
	100 h	150 h	200 h	220 h	100 h	150 h	200 h	220 h	100 h	150 h	200 h	220 h
<b>Piridinas</b>												
Piridina	5.20%	4.11%	3.91%	4.60%	4.10%	5.63%	4.99%	4.04%	5.02%	5.01%	5.73%	6.27%
<b>Pirroles</b>												
1-Metilpirrol	0.97%	1.40%	1.26%	1.41%	1.02%	1.32%	1.37%	0.84%	1.56%	1.45%	1.15%	0.00%
Pirrol	0.51%	0.47%	0.45%	0.55%	0.36%	0.44%	0.00%	0.00%	0.00%	0.54%	0.41%	0.70%
N-Etilpirrol	0.00%	0.00%	0.23%	0.27%	0.32%	0.00%	0.26%	0.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2-Acetilpirrol	0.00%	0.00%	0.28%	0.29%	0.21%	0.30%	0.00%	0.62%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2-Acetil-1-metilpirrol	0.00%	0.00%	0.00%	0.74%	0.62%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1-Furfurilpirrol	1.99%	1.47%	1.87%	2.14%	2.57%	2.38%	2.68%	2.71%	1.89%	2.16%	2.96%	3.67%
<b>Otros</b>												
Disulfuro de dimetilo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.36%	0.00%
8-Oxabiciclo[3.2.1]oct-6-en-3-ona	0.58%	0.00%	0.00%	0.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Anhídrido 2-metilbutanoico	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.51%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
p-Anisidina	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.63%	0.75%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Tolueno	0.27%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

**Figura 4**

*Mapa de calor de los COV identificados en la bebida de café*



#### IV. DISCUSIÓN

La humedad final del grano de café pergamino obtenida estuvo entre 10 y 12.5 %, valores recomendados por la Norma Técnica Peruana NTP-ISO8455:2018 que son importantes para minimizar el crecimiento de microorganismos y ataque de insectos que pueden ser dañinos para la salud, así como para la calidad del producto final (Kath et al., 2021).

La utilización de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* afectó el pH de la bebida de café, mayor cantidad de levadura reduce el pH a menos de 5 coincidiendo con el trabajo realizado por Rabelo et al. (2024), quienes obtuvieron valores entre 4 y 4.5, lo cual favorece a la bebida. Alta población de bacterias mesófilas producen mayor cantidad de enzimas que sintetizan los carbohidratos y azúcares del mucilago (da Silva et al., 2021). Sin embargo, valores inferiores a 4 afectan la calidad sensorial de la bebida, debido a que es producto de sobrefermentación (Hameed et al., 2018).

A medida que el pH disminuye, la acidez aumenta debido a los ácidos generados por la degradación de pectinas y de azúcares del grano de café (Córdoba & Guerrero, 2016). La acidez titulable de las bebidas estuvo entre 2.29 y 3.44 cuando se estandarizó el pH a 6 de acuerdo a lo detallado por Rao y Fuller (2018). Los ácidos más importantes de la bebida de café son ácidos acético y láctico, los cuales contribuyen al perfil sensorial y calidad (Pereira et al., 2021). La fermentación anaeróbica, favorece el crecimiento de levaduras y bacterias ácido lácticas, asociadas a la producción de ácido, incrementando la acidez de la bebida de café (Bressani et al., 2018).

La capacidad antioxidante, de forma general, disminuyó en las muestras fermentadas por más horas, sin embargo, las bebidas elaboradas con el café fermentado con 1% de levadura por 100 y 220 h presentaron un aumento en la capacidad antioxidante cuando comparada con la muestra control de los mismos tiempos de fermentación. No obstante, Therdtatha et al. (2023) reportaron un aumento en la capacidad antioxidante, también determinada por el método del DPPH, en la bebida elaborada con los cafés fermentados utilizando *S. cerevisiae* por largos tiempos. Las diferencias en la capacidad antioxidante de la bebida de café dependen de la adición de levadura, así como, del tiempo de fermentación (Várady et al., 2022; Aswathi et al., 2024).

El ácido 4-hidroxi-butanoico fue detectado solamente en las bebidas que elaboradas con el café fermentado con adición de 1% de levadura. Esta clase de compuestos contribuye en la acidez y el brillo de la bebida, es importante para la calidad ya que influye en el aroma que va desde vinagre hasta notas de chocolate (Belchior et al., 2019).

Los alcoholes se detectaron en mayor cantidad en las bebidas que fueron fermentadas con la adición de levadura y puede deberse a una mayor degradación de la glucosa durante la fermentación y el catabolismo de aminoácidos (Cassimiro et al., 2023). El alcohol furfúrico fue observado en la mayoría de las bebidas en mayor cantidad. Este COV se genera mediante la reacción de Maillard y procesos térmicos, como la degradación térmica de óxidos de ácidos grasos poliinsaturados, tiamina, nucleósidos, azúcares presentes en la caramelización, ácido ascórbico, carbohidratos y degradación de ácidos grasos insaturados (Zakidou et al., 2021). Este compuesto agrega aromas dulces en la bebida de café durante tostado (Kipkorir et al., 2015; Ongo et al., 2020), sin embargo, valores altos generan un olor amargo (Zakidou et al., 2021). Presentes en cafés arábicas y robustas, ofrece notas dulces. El linalool es un compuesto volátil que aumenta en la fermentación con levadura, su aroma es fresco, amaderado y cítrico (Pereira et al., 2019). *S. cerevisiae* biotransforma a los alcoholes monoterpénicos en terpenos como el linalool (Sharma et al., 2020), siendo el posible motivo de su presencia, tanto en los tratamientos control como en los tratamientos con adición de levadura.

De los 10 aldehídos presentes en las bebidas, dos (5-metilfurfural y furfural) fueron encontrados en mayor cantidad. El furfural es formado por la degradación térmica de la glucosa durante el tostado, proporcionando un olor dulce y contribuyendo con un alto sabor y aroma afrutado en la bebida, siendo las levaduras las principales responsables por este proceso durante la fermentación (Elhalis et al., 2020). El 5-metilfurfural es un COV reportado como siendo clave para determinar el origen geográfico y el clima de cultivo (Toledo et al., 2016), asimismo fue encontrado en la bebida de café expreso preparada con 100% del café arábica (Petisca et al., 2013, 2014). El fenilacetaldéhidó es un COV importante en el aroma (da Silva Vale et al., 2019) y el contenido fue mayor para la bebida de café fermentado sin adición de levadura.

Las cetonas proporcionan notas afrutadas, florales y de miel a la bebida de café y son formadas por la degradación de Strecker de aminoácidos (Prakash et al., 2022). La cetona 2,3-pentanodiona estuvo presente en todas las bebidas, disminuyendo en los tratamientos

con la adición de levadura (1 y 2%), además, es considerada un COV endógeno que, a temperatura ambiente, puede volatilizarse durante el almacenamiento del café generar pérdidas de aroma. Se encontraron investigaciones donde la acetoxiacetona fue encontrada en el café tostado (Teixeira et al., 2022) también en el aceite de café que fue extraído por técnica de dióxido de carbono supercrítico (Pattaraprachyakul et al., 2023), y en almendras (Gabriella et al., 2022), no hay investigaciones aún que se encontraron en la bebida.

Los ésteres son producidos a partir de la reacción de esterificación entre ácidos grasos y una molécula de alcohol. Ellos contribuyen a notas sensoriales florales y frutales en la bebida de café. El grano fermentado con la adición de levadura tiene un potencial de aumentar el contenido de ésteres el cual es positivo para la calidad del café (Lee et al., 2016). Fueron identificados quince ésteres y de los cuales la mayoría fueron encontrados solamente en las bebidas de café fermentado con la adición de *S. cerevisiae*. El compuesto volátil propionato de furfurilo, se detectó en mayor cantidad en las bebidas de café fermentados con adición de levadura. La presencia de este compuesto en la bebida influye en la calidad sensorial; las bebidas podrían superar los 80 puntos en taza en la escala de la *Specialty Coffee Association* (SCA), según Martins et al. (2019), puesto que le confiere notas a caramelo, frutas, nuez y refrescante a la bebida (Ruta & Farcasanu, 2021). El acetato de etilo estuvo en mayor cantidad en la bebida de café fermentado durante 150 h con 1% de *S. cerevisiae*, producto atribuido al proceso metabólico de la levadura (Neto et al., 2020). La presencia de este compuesto es importante en el aroma del café (Elhalis et al., 2020), significando un efecto positivo de la levadura en la fermentación (Liu et al., 2021).

Los fenoles en las bebidas de café se sintetizan durante el tostado mediante pérdida de agua y desnaturalización de proteínas, pirólisis y caramelización. Estos COV influyen en el aroma y sabor característico de la bebida (Caporaso et al., 2018), sin embargo, la adición de levadura no afectó de forma considerable la presencia o concentración de esta clase de COV en la bebida de café.

Las pirazinas son producidas en la reacción de Maillard implicando la condensación de grupos carbonilo y amina. Tienen notas dulces, de nueces, caramelo y chocolate (Caporaso, Whitworth, Grebby, et al., 2018). La 2-6-dimetilpirazina y la 2-3-dimetilpirazina son comunes en las bebidas fermentadas con levaduras y confieren un

buen aroma (Cassimiro et al., 2023). Estos compuestos volátiles fueron detectados en las bebidas fermentadas con adición de levadura.

Las piridinas son generadas por reacciones térmicas de los intermedios de Amadori, pirólisis de aminoácidos, trigonelina y proteínas (Kalschne et al., 2018). Son los COV que dan características sensoriales como dulce, tostado, mantecoso y terroso a la bebida. Las levaduras durante la fermentación tienen impacto en los componentes internos como los azúcares y aminoácidos (Elhalis et al., 2021). En las bebidas evaluadas se detectó solamente la piridina en esta clase de compuestos, fenómeno observado también por Aswathi et al. (2024) y Cao et al. (2023).

Finalmente de los pirroles, el 1-metilpirrol estuvo presente en todas las bebidas de café, siendo encontrado en mayores concentraciones en la bebida de café elaborada con los cafés fermentados con adición de levadura, esto también fue reportado por Kim et al. (2019), quienes encontraron que fue un compuesto volátil resaltante en las bebidas.

En consecuencia, la incorporación de levadura durante la fermentación del café permite, según Mynsen et al. (2023), que la bebida tenga mayor concentración de alcoholes, pirazinas, ésteres, cetonas y aldehídos; lo cual se ha corroborado en este trabajo de investigación.

## V. CONCLUSIONES

El pH de la bebida es un factor fundamental en la aceptabilidad de la bebida de café por el consumidor y en esta investigación la adición de levadura afectó el pH de la bebida de café ya que mayor cantidad de levadura reduce el pH a menos de 5.

La acidez titulable de las bebidas estuvo entre 2.29 y 3.44 cuando se estandarizó el pH a 6; los ácidos más importantes de la bebida de café son ácidos acéticos y lácticos; los cuales, contribuyen al perfil sensorial y calidad.

La fermentación anaeróbica, favorece el desarrollo de levaduras y bacterias ácido-lácticas, asociadas a la producción de ácido, incrementando la acidez de la bebida de café.

Las diferencias en la capacidad antioxidante de la bebida de café dependen de la adición de levadura y del tiempo de fermentación.

Finalmente, la incorporación de levadura durante la fermentación del café permite que la bebida tenga mayores concentraciones en alcoholes y ésteres, generando hasta 10 compuestos nuevos de los últimos, además de la reducción otros compuestos como los aldehídos. En esta investigación se encontraron compuestos volátiles que son importantes en la bebida para el aroma como: aldehídos; cetonas, ésteres (presentes solo en bebidas de café fermentados con adición de levadura), fenoles, furanos, pirazinas, piridina, alcohol (linalool).

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, G., Dresch, D., & R. Melchert, W. (2021). Use of non-volatile compounds for the classification of specialty and traditional Brazilian coffees using principal component analysis. *Food Chemistry*, *360*, 130088.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130088>
- Aswathi, K. N., Shirke, A., Praveen, A., & Murthy, P. S. (2024). Functioning of *Saccharomyces cerevisiae* in honey coffee (*Coffea canephora*) and their effect on metabolites, volatiles and flavor profiles. *Food Research International*, *180*, 114092. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114092>
- Bastian, F., Hutabarat, O. S., Dirpan, A., Nainu, F., Harapan, H., Emran, T. B., & Simal-Gandara, J. (2021). From Plantation to Cup: Changes in Bioactive Compounds during Coffee Processing. *Foods*, *10*(11), Article 11.  
<https://doi.org/10.3390/foods10112827>
- Belchior, V., Botelho, B. G., Oliveira, L. S., & Franca, A. S. (2019). Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Spectroscopy (ATR-FTIR) and chemometrics for discrimination of espresso coffees with different sensory characteristics. *Food Chemistry*, *273*, 178-185. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.026>
- Bodner, M., Morozova, K., Kruathongsri, P., Thakeow, P., & Scampicchio, M. (2019). Effect of harvesting altitude, fermentation time and roasting degree on the aroma released by coffee powder monitored by proton transfer reaction mass spectrometry. *European Food Research and Technology*, *245*(7), 1499-1506.  
<https://doi.org/10.1007/s00217-019-03281-5>
- Braga, A. V. U., Miranda, M. A., Aoyama, H., & Schmidt, F. L. (2023). Study on coffee quality improvement by self-induced anaerobic fermentation: Microbial diversity and enzymatic activity. *Food Research International*, *165*, 112528.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112528>
- 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>

Bressani, A. P. P., Martinez, S. J., Sarmiento, A. B. I., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2021). Influence of yeast inoculation on the quality of fermented coffee (*Coffea arabica* var. Mundo Novo) processed by natural and pulped natural processes. *International Journal of Food Microbiology*, 343, 109107. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109107>

Cao, X., Wu, H., Viejo, C. G., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. R. (2023). Effects of postharvest processing on aroma formation in roasted coffee – a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(3), 1007-1027. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16261>

Caporaso, N., Whitworth, M. B., Cui, C., & Fisk, I. D. (2018). Variability of single bean coffee volatile compounds of Arabica and robusta roasted coffees analysed by SPME-GC-MS. *Food Research International*, 108, 628-640. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.077>

Caporaso, N., Whitworth, M. B., Grebby, S., & Fisk, I. D. (2018). Non-destructive analysis of sucrose, caffeine and trigonelline on single green coffee beans by hyperspectral imaging. *Food Research International*, 106, 193-203. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.031>

Carcea, M., Danesi, I., De Gara, L., Diretto, G., Fanali, C., Raffo, A., Sinesio, F., Della Posta, S., Frusciante, S., Moneta, E., Narducci, V., Peparaiio, 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>

Cassimiro, D. M. de J., Batista, N. N., Fonseca, H. C., Oliveira Naves, J. A., Coelho, J. M., Bernardes, P. C., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2023b). Wet fermentation of *Coffea canephora* by lactic acid bacteria and yeasts using the self-induced anaerobic fermentation (SIAF) method enhances the coffee quality. *Food Microbiology*, 110, 104161. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.104161>

- Chan, M. Z. A., Tan, L. T., Heng, S. W. Q., & Liu, S. Q. (2023). Effect of Co-Fermentation of *Saccharomyces boulardii* CNCM-I745 with Four Different Probiotic Lactobacilli in Coffee Brews on Cell Viabilities and Metabolic Activities. *Fermentation*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/fermentation9030219>
- Córdoba, N., Moreno, F. L., Osorio, C., Velásquez, S., Fernandez-Alduenda, M., & Ruiz-Pardo, Y. (2021). Specialty and regular coffee bean quality for cold and hot brewing: Evaluation of sensory profile and physicochemical characteristics. *LWT*, 145, 111363. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111363>
- 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>
- Cruz-O'Byrne, R., Gamez-Guzman, A., Piraneque-Gambasica, N., & Aguirre-Forero, S. (2023). Genomic sequencing in Colombian coffee fermentation reveals new records of yeast species. *Food Bioscience*, 52, 102415. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102415>
- da Silva, B. L., Pereira, P. V., Bertoli, L. D., Silveira, D. L., Batista, N. N., Pinheiro, P. F., de Souza Carneiro, J., Schwan, R. F., de Assis Silva, S., Coelho, J. M., & Bernardes, P. C. (2021). Fermentation of *Coffea canephora* inoculated with yeasts: Microbiological, chemical, and sensory characteristics. *Food Microbiology*, 98, 103786. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103786>
- da Silva Vale, A., de Melo Pereira, G. V., de Carvalho Neto, D. P., Rodrigues, C., Pagnoncelli, M. G. B., & Soccol, C. R. (2019). Effect of Co-Inoculation with *Pichia fermentans* and *Pediococcus acidilactici* on Metabolite Produced During Fermentation and Volatile Composition of Coffee Beans. *Fermentation*, 5(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/fermentation5030067>
- De Carvalho Neto, D. P., Vinícius De Melo Pereira, G., Finco, A. M. O., Rodrigues, C., Carvalho, J. C. D., & Soccol, C. R. (2020). Microbiological, physicochemical and sensory studies of coffee beans fermentation conducted in a yeast bioreactor

model. *Food Biotechnology*, 34(2), 172-192.  
<https://doi.org/10.1080/08905436.2020.1746666>

Elhalis, H., Cox, J., Frank, D., & Zhao, J. (2020). The crucial role of yeasts in the wet fermentation of coffee beans and quality. *International Journal of Food Microbiology*, 333, 108796. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108796>

Elhalis, H., Cox, J., Frank, D., & Zhao, J. (2021). Microbiological and biochemical performances of six yeast species as potential starter cultures for wet fermentation of coffee beans. *LWT*, 137, 110430.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110430>

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>

Galarza, G., & Figueroa, J. G. (2022). Volatile Compound Characterization of Coffee (*Coffea arabica*) Processed at Different Fermentation Times Using SPME–GC–MS. *Molecules*, 27(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/molecules27062004>

Hall, R. D., Trevisan, F., & de Vos, R. C. H. (2022). Coffee berry and green bean chemistry – Opportunities for improving cup quality and crop circularity. *Food Research International*, 151, 110825.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110825>

Hameed, A., Hussain, S. A., Ijaz, M. U., Ullah, S., Pasha, I., & Suleria, H. A. R. (2018). Farm to Consumer: Factors Affecting the Organoleptic Characteristics of Coffee. II: Postharvest Processing Factors. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(5), 1184-1237. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12365>

Helena Sances Rabelo, M., Meira Borém, F., Paula de Carvalho Alves, A., Soares Pieroni, R., Mendes Santos, C., Nakajima, M., & Sugino, R. (2024). Fermentation of coffee fruit with sequential inoculation of *Lactiplantibacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae*: Effects on volatile composition and

sensory characteristics. *Food Chemistry*, 444, 138608.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138608>

Janne Carvalho Ferreira, L., de Souza Gomes, M., Maciel de Oliveira, L., & Diniz Santos, L. (2023). Coffee fermentation process: A review. *Food Research International*, 112793. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112793>

Kalschne, D. L., Viegas, M. C., De Conti, A. J., Corso, M. P., & Benassi, M. de T. (2018). Steam pressure treatment of defective *Coffea canephora* beans improves the volatile profile and sensory acceptance of roasted coffee blends. *Food Research International*, 105, 393-402. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.017>

Kath, J., Mittahalli Byrareddy, V., Mushtaq, S., Craparo, A., & Porcel, M. (2021). Temperature and rainfall impacts on robusta coffee bean characteristics. *Climate Risk Management*, 32, 100281. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100281>

Kim, S.-J., Lee, S., Bang, E., Lee, S., Rhee, J.-K., & Na, Y.-C. (2019). Comparative evaluation of flavor compounds in fermented green and roasted coffee beans by solid phase microextraction-gas chromatography/mass spectrometry. *Flavour and Fragrance Journal*, 34(5), 365-376. <https://doi.org/10.1002/ffj.3517>

Kipkorir, R., Muhoho, S., Muliro, P., Mugendi, B., Frohme, M., & Brödel, O. (2015). *Effects of Coffee Processing Technologies on Aroma Profiles and Sensory Quality of Ruiru 11 and SL 28 Kenyan Coffee Varieties* [Preprint]. [https://doi.org/10.15771/2321-1571\\_2015\\_1](https://doi.org/10.15771/2321-1571_2015_1)

Lee, L. W., Cheong, M. W., Curran, P., Yu, B., & Liu, S. Q. (2016). Modulation of coffee aroma via the fermentation of green coffee beans with *Rhizopus oligosporus*: I. Green coffee. *Food Chemistry*, 211, 916-924. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.076>

Liu, Y., Yuan, W., Lu, Y., & Liu, S. Q. (2021). Biotransformation of spent coffee grounds by fermentation with monocultures of *Saccharomyces cerevisiae* and *Lachancea thermotolerans* aided by yeast extracts. *LWT*, 138, 110751. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110751>

- Martins, P. M. M., Ribeiro, L. S., Miguel, M. G. da C. P., Evangelista, S. R., & Schwan, R. F. (2019). Production of coffee (*Coffea arabica*) inoculated with yeasts: Impact on quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(13), 5638-5645. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9820>
- Mota, M. C. B., Batista, N. N., Rabelo, M. H. S., Ribeiro, D. E., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2020). Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. *Food Research International*, 136, 109482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109482>
- Mynsen Machado Martins, P., Nara Batista, N., Augusto Oliveira Naves, J., Ribeiro Dias, D., & Freitas Schwan, R. (2023). Use of microencapsulated starter cultures by spray drying in coffee under self-induced anaerobiosis fermentation (SIAF). *Food Research International*, 172, 113189. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113189>
- Oliveira Junqueira, A. C., Melo Pereira, G. V., Coral Medina, J. D., Alvear, M. C. R., Rosero, R., de Carvalho Neto, D. P., Enríquez, H. G., & Soccol, C. R. (2019). First description of bacterial and fungal communities in Colombian coffee beans fermentation analysed using Illumina-based amplicon sequencing. *Scientific Reports*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45002-8>
- Pereira, G. V., de Carvalho Neto, D. P., Magalhães Júnior, A. I., Vásquez, Z. S., Medeiros, A. B. P., Vandenberghe, L. P. S., & Soccol, C. R. (2019). Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review. *Food Chemistry*, 272, 441-452. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.061>
- Pereira, P. V., da Silveira, D. L., Schwan, R. F., de Assis Silva, S., Coelho, J. M., & Bernardes, P. C. (2021). Effect of altitude and terrain aspect on the chemical composition of *Coffea canephora* cherries and sensory characteristics of the beverage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(6), 2570-2575. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10885>
- Portela, C. da S., Almeida, I. F. de, Reis, T. A. D. dos, Hickmann, B. R. B., & Benassi, M. de T. (2022). Effects of brewing conditions and coffee species on the

physicochemical characteristics, preference and dynamics of sensory attributes perception in cold brews. *Food Research International*, 151, 110860.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110860>

Prakash, I., R, S. S., P, S. H., Kumar, P., Om, H., Basavaraj, K., & Murthy, P. S. (2022).

Metabolomics and volatile fingerprint of yeast fermented robusta coffee: A value added coffee. *LWT*, 154, 112717.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112717>

Rao, N. Z., & Fuller, M. (2018). Acidity and Antioxidant Activity of Cold Brew Coffee.

*Scientific Reports*, 8(1), 16030. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34392-w>

Ribeiro, L. S., Miguel, M. G. da C. P., Evangelista, S. R., Martins, P. M. M., van

Mullem, J., Belizario, M. H., & Schwan, R. F. (2017). Behavior of yeast inoculated during semi-dry coffee fermentation and the effect on chemical and sensorial properties of the final beverage. *Food Research International*, 92, 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.011>

Ruta, L., & Farcasanu, I. (2021). *Coffee and Yeasts: From Flavor to Biotechnology*. 141.

Sharma, A., Sharma, P., Singh, J., Singh, S., & Nain, L. (2020). Prospecting the Potential of Agroresidues as Substrate for Microbial Flavor Production.

*Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4.

<https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00018>

Sittipod, S., Schwartz, E., Paravisini, L., & Peterson, D. G. (2019). Identification of flavor modulating compounds that positively impact coffee quality. *Food*

*Chemistry*, 301, 125250. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125250>

Therdatha, P., Jareontanahun, N., Chaisuwan, W., Yakul, K., Paemane, A., Manassa, A., Moukamnerd, C., Phimolsiripol, Y., Sommano, S. R., & Seesuriyachan, P.

(2023). Production of functional Arabica and Robusta green coffee beans: Optimization of fermentation with microbial cocktails to improve antioxidant activity and metabolomic profiles. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 53, 102869. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102869>

- 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>
- Vega, A., León, J. A. D., Reyes, S. M., Gallardo, J. M., Vega, A., León, J. A. D., Reyes, S. M., & Gallardo, J. M. (2021). Mathematical model to determine the correlation between physicochemical parameters and the sensory quality of Panama Geisha and Pacamara coffee. *Información tecnológica*, *32*(1), 89-100. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000100089>
- Zakidou, P., Plati, F., Matsakidou, A., Varka, E.-M., Blekas, G., & Paraskevopoulou, A. (2021). Single Origin Coffee Aroma: From Optimized Flavor Protocols and Coffee Customization to Instrumental Volatile Characterization and Chemometrics. *Molecules*, *26*(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/molecules26154609>
- 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>

## ANEXOS

**Figura 5**

*Preparación de las muestras de café según las condiciones de fermentación*



**Figura 6**

*Fermentación de las muestras de café*



**Figura 7**

*Proceso de lavado de las muestras de café*



**Figura 8**

*Proceso de secado de las muestras de café*



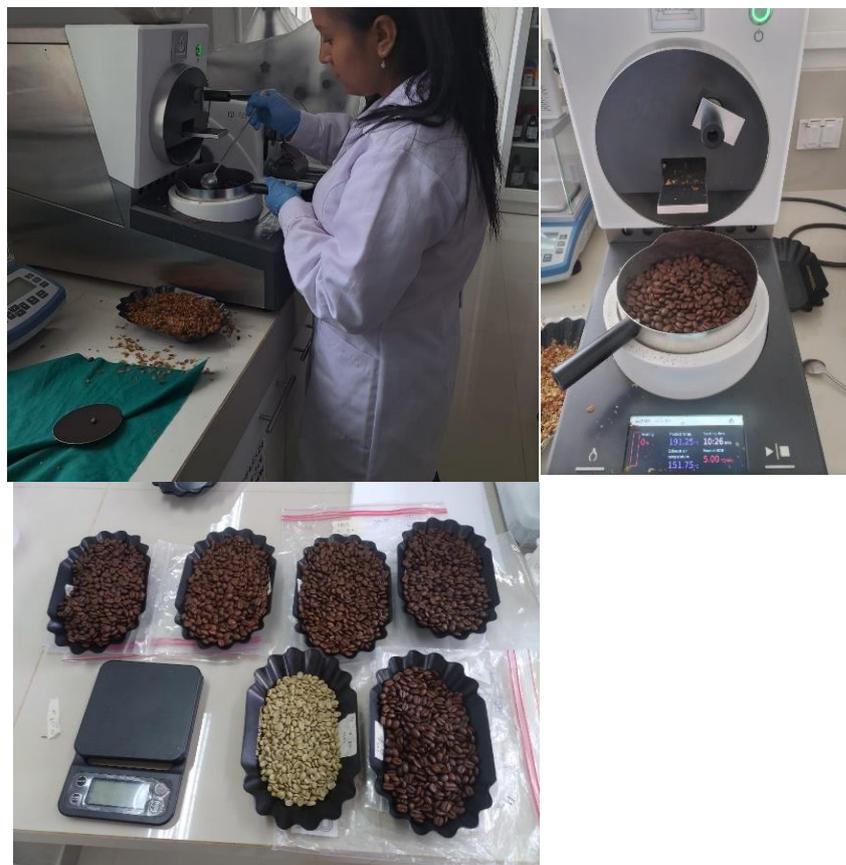
**Figura 9**

*Determinación del porcentaje de humedad de las muestras de café*



**Figura 10**

*Proceso de tostado de las muestras de café*



## Figura 11

*Preparación del café expreso para los análisis fisicoquímicos y de COV*



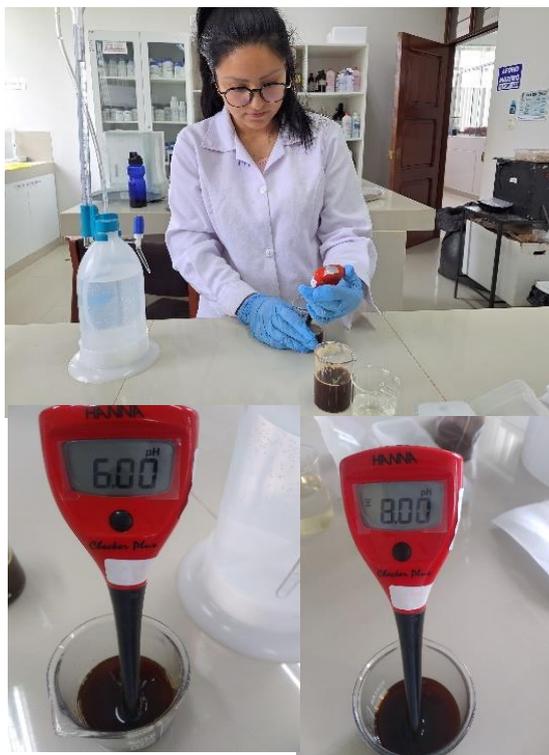
## Figura 12

*Evaluación del pH de las bebidas de café*



**Figura 13**

*Evaluación de la acidez titulable de las bebidas de café*



**Figura 14**

*Determinación de la capacidad antioxidante de las bebidas de café*



## Figura 15

*Extracción (SPME) e análisis de los COV de las bebidas de café por GC-MS*

