

**Evaluación de la fermentación controlada con  
inoculación de levaduras (*Saccharomyces  
cerevisiae*) y su efecto en la calidad del café  
(*Coffea arabica*)**

**Jimena Betancur Moreno  
Mateo Sebastián Zurita Sarzosa**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2020

ZAMORANO  
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**Evaluación de la fermentación controlada con  
inoculación de levaduras (*Saccharomyces  
cerevisiae*) y su efecto en la calidad del café  
(*Coffea arabica*)**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingenieros en Agroindustria Alimentaria en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por:

**Jimena Betancur Moreno**  
**Mateo Sebastián Zurita Sarzosa**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2020

## **Evaluación de la fermentación controlada con inoculación de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) y su efecto en la calidad del café (*Coffea arabica*)**

**Jimena Betancur Moreno**  
**Mateo Sebastián Zurita Sarzosa**

**Resumen.** El beneficio húmedo es determinante en el desarrollo de atributos en el café que pueden traducirse en mejores precios en mercados internacionales. En este estudio se evaluaron las condiciones de fermentación controlada en café variedad Caturra, cuyo principal objetivo fue determinar el efecto de la fermentación asistida en sus características fisicoquímicas y sensoriales. El estudio se realizó en la Finca Kotowa, Boquete, Panamá. Se analizaron dos procesos de fermentación (lavado y natural) con o sin la adición de inóculo (levadura) y tratamientos control sin fermentación, con tres repeticiones. Durante los 6 días de fermentación se realizaron mediciones de pH, temperatura interna y sólidos solubles y análisis microbiológicos al iniciar y al finalizar el proceso. Después del periodo de secado, se efectuaron análisis de fenoles totales y cafeína. Finalmente, se realizó la evaluación sensorial (catación) en café tostado. Se evidenció una reducción de sólidos solubles, temperatura interna y pH durante la fermentación. La fermentación controlada favoreció el puntaje final de catación independientemente de la inclusión de inóculo en el proceso. Se obtuvo una diferencia en puntaje de taza de 0.8 puntos para café lavado y 1.16 para natural, entre tratamientos de fermentación asistida y sus respectivos controles. En general, los tratamientos con café natural y fermentación controlada presentaron mayor concentración de fenoles que los tratamientos con café lavado. No se encontraron diferencias en el contenido de cafeína y recuentos de microorganismos (hongos y levaduras) entre tratamientos. Se recomienda seguir evaluando inoculación, tiempos de fermentación y aplicación en otras variedades de café.

**Palabras clave:** Acidez, beneficio, catación, lavado, microorganismos, natural.

**Abstract.** The wet mill is decisive in the development of attributes in coffee which could lead to better prices in international markets. In this study, the controlled fermentation conditions in Caturra coffee were evaluated, whose main objective was to determine the effect of assisted fermentation on the coffee physicochemical and sensory characteristics. The study was carried out at Kotowa Farms, Boquete, Panama. Two fermentation processes (washed and natural) with or without the addition of inoculum (yeast) and control treatments without fermentation were analyzed, with three replicates. During the 6 days of fermentation, pH, internal temperature, and soluble solids were measured and microbiological analyses were carried out at the beginning and at the end of the process. After the drying period, analyses were made for total phenols and caffeine. Finally, sensory evaluation (cupping) was carried out in roasted coffee. A reduction in soluble solids, internal temperature and pH was evidenced during fermentation. Controlled fermentation favored the final cupping score regardless of the inclusion of inoculum in the process. A difference in cup score of 0.8 points was obtained for washed coffee and 1.16 for natural, between assisted fermentation treatments and their respective controls. In general, treatments with natural coffee and controlled fermentation presented a higher concentration of phenols than treatments with washed coffee. No differences were found in caffeine content and microbial count (yeast and molds) among treatments. It is recommended to continue evaluating inoculation, fermentation time and application in other varieties of coffee.

**Key words:** Acidity, benefit, cupping, microorganisms, natural, washed.

## ÍNDICE GENERAL

Portadilla .....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido .....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>17</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>18</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>19</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>25</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Descripción de tratamientos.....	3
2. Comportamiento del pH durante el periodo de fermentación.....	10
3. Comportamiento de sólidos solubles durante el periodo de fermentación.....	10
4. Recuento de hongos y levaduras al inicio y al final de la fermentación.....	12
5. Determinación del contenido de fenoles totales y cafeína.....	13

Figuras	Página
1. Temperatura de la masa durante la fermentación.....	8
2. Resultados de cataciones realizadas a los seis tratamientos.....	15

Anexos	Página
1. Curva de tostado para catación de café natural Kotowa.....	25
2. Curva de tostado para catación de café lavado Kotowa.....	25
3. Descriptores de los tratamientos en catación.....	26
4. Nivel de significancia y correlación de factores en temperatura interna.....	26
5. Nivel de significancia y correlación de factores en sólidos solubles.....	26
6. Nivel de significancia en fenoles y cafeína.....	26
7. Nivel de significancia y correlación de factores en pH.....	27

# 1. INTRODUCCIÓN

El café es la segunda bebida más consumida a nivel mundial; con el paso del tiempo han ganado importancia en el mercado, los cafés diferenciados, de alta calidad, orgánicos y especiales (Pérez *et al.* 2015). El segmento de cafés especiales representa aproximadamente el 10% del consumo mundial, y según expertos el consumo de cafés especiales y con denominación de origen, continuará creciendo exponencialmente (Borém *et al.* 2016). La producción de café especial en Panamá se origina desde el año 1996, buscando un factor diferenciador (SCAA 2019). Para producir cafés especiales, los productores han desarrollado un sinnúmero de procesos, para tratar de desarrollar atributos positivos en sus cafés, controlando variables como el manejo en campo o el beneficiado. Diversos factores determinan la calidad del café, entre éstos se encuentran: las condiciones climáticas, el suelo, el tipo de manejo del cultivo, procesamiento postcosecha y la forma de preparación de la bebida (Puerta *et al.* 2016). El beneficio húmedo es el que más se acostumbra en los tipos de café de procedencia arábiga; el proceso inicia con la recolección o cosecha de café cereza, al igual que una adecuada selección y limpieza, a partir de aquí se derivan varias etapas: despulpado, remoción del mucílago, lavado, secado, trillado, tostado y molienda (Giraldo *et al.* 2017).

La variedad Caturra es reconocida por su porte bajo, alta capacidad productiva, susceptibilidad a la roya (*Hemileia vastratrix*) y su potencial a excelente calidad de taza (Enríquez y Chamorro 2017). Para obtener una buena percepción sensorial, se han desarrollado estrategias o innovación en los procesos, como adición de microbiota, que causa cambios en la composición química y llevan a desarrollar sabores y aromas que favorecen el puntaje final en la catación (Folmer 2014). De igual forma, el beneficio y los pretratamientos del café verde antes del tostado, como procesos de fermentación abierta o cerrada (Cruz y Pivaral 2018), maceración carbónica e inoculación (Samaniego 2019), influyen en su calidad sensorial.

Se resalta la importancia de la fermentación, ya que en este proceso intervienen microorganismos que influyen en la calidad de taza (Mendoza 2019). Se han desarrollado tecnologías que permiten controlar condiciones como temperatura, calidad y sanidad del café, al igual de la duración del proceso (Puerta *et al.* 2015). Los procesos de fermentación han sido usados para dar sabor, aroma y conservar la calidad de alimentos y bebidas (López *et al.* 2017). A medida que se han desarrollado investigaciones enfocadas en la fermentación, se ha pasado de una fermentación tradicional a una fermentación controlada, obteniendo bebidas de calidad superior con sabores y aromas muy peculiares, que agregan valor y permiten establecer una calidad constante en el producto (Cruz y Pivaral 2018). Mediante una fermentación controlada se desarrollan sabores especiales que deben ser conservados, por medio de prácticas adecuadas de lavado, secado, almacenamiento y tostado (Puerta *et al.* 2015). La fermentación es considerada un proceso biológico que consolida las propiedades del producto, dentro de los factores más determinantes se encuentra: la presencia de levaduras, el tiempo y la temperatura (Cruz *et al.* 2019). En la etapa de fermentación ocurren varias reacciones químicas; las levaduras y las bacterias presentes en el mucílago, mediante sus enzimas naturales oxidan parcialmente los azúcares; debido a esto se generan cambios en color, olor, densidad, acidez, pH y actividad de agua, los cuales se consideran relevantes en la calidad final y se relacionan directamente con el tiempo de duración de la etapa fermentativa (Córdoba y Guerrero 2016).

Durante el proceso de la fermentación en café, intervienen microorganismos, los cuales debido a su actividad degradan el sustrato a fermentar y generan cambios químicos. La mayoría de los microorganismos que actúan en la fermentación del café suelen ser mesófilos, y entre estos la mayoría son levaduras que crecen en un rango entre 5 y 39 °C, siendo de 28 a 35 °C la temperatura óptima para su crecimiento (Orozco 2019).

Según Puerta (2012), las levaduras fermentadoras del mucílago que se encuentran presentes en la fermentación son *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida albicans*, *C. tropicalis*, *C. krusei*, *C. lipolytica*, *C. parasilopsis* y *C. pintolopesii*, las cuales producen etanol y CO<sub>2</sub>, y las no fermentadoras como *Cryptococcus terreus*, *Rhodotorula rubra* y *R. glutinis*. A medida que el tiempo de fermentación aumenta, el pH de la masa fermentable disminuye y la cantidad de bacterias Gram negativas disminuye hasta desaparecer, como consecuencia de esto se obtiene un medio ácido que favorece e impulsa el crecimiento de bacterias *Lactobacillus* y levaduras que son predominantes en la fermentación del café (Puerta *et al.* 2015).

Un café especial es aquel que obtiene una puntuación de catación mayor a 80, por lo cual podría acceder a un exclusivo mercado, asegurando un precio superior al del café tradicional (Velásquez y Trávez 2019). Este segmento del mercado de café define sus precios, en su mayoría, por medio de subastas a través de la Specialty Coffee Association (SCAA) y la Alliance for Coffee Excellence (ACE), además de las negociaciones independientes entre exportadores e importadores de este tipo de café (SCAA 2015). Según Madera y Torres (2016) en Panamá hay 43 empresas productoras de café Specialty, de las cuales sólo ocho son dueños de las marcas, dentro de las que está café Kotowa. El proceso de fermentación permite al caficultor diferenciar su café y entrar al mercado de especialidad, debido a que puede controlar las condiciones que le permitan desarrollar las características a resaltar y de esta forma dar un valor agregado al producto y posicionarse como café diferenciado (Puerta *et al.* 2015). Debido a la importancia de este proceso, es relevante investigar o evaluar las condiciones de fermentación y su efecto en la calidad de taza y las variables que influyen en la calidad final del café variedad Caturra. Por lo tanto, los objetivos del estudio fueron:

- Determinar el comportamiento de: pH, sólidos solubles y temperatura interna durante la fermentación.
- Cuantificar los microorganismos que intervienen en el proceso de fermentación controlada.
- Evaluar el efecto de la fermentación controlada e inoculación en las características químicas y sensoriales del café.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del estudio.

El estudio se realizó en la Finca Kotowa, ubicada en el lado Noreste de Boquete, Panamá, a 1,300-1,400 msnm; con una precipitación promedio de 2,250 mm con lluvias principalmente del Pacífico, de mayo a noviembre y algunas del Atlántico de diciembre a febrero. La temperatura de la zona varía entre 15 y 26 °C. Se empleó café variedad Caturra de diferentes lotes de la Finca Duncan, se les dio seis condiciones: natural sin enjuague y lavado (despulpado con miel), con o sin inoculación de levaduras y de igual manera se emplearon dos tratamientos control que no llevaron proceso de fermentación.

La fermentación controlada se realizó en la Finca Río Cristal ubicada en el lado Norte de Boquete, con una altitud de 1,700-1,850 msnm y una precipitación promedio de 2,550 mm con una temperatura entre 13 y 22 °C. El secado y catación se realizaron en las instalaciones de la Finca Kotowa. Los análisis microbiológicos se realizaron en el Centro de Investigación en Recursos Naturales (CIRN), de la Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI) y los químicos se realizaron en el Laboratorio de Alimentos Aoxlab, en Medellín, Colombia.

### Diseño experimental.

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar, para los análisis microbiológicos y químicos. Los análisis fisicoquímicos y sensoriales se evaluaron mediante un diseño de Bloques Completos al Azar. Se empleó un arreglo factorial  $2 \times 3$  dos procesos lavado y natural, en tres condiciones de fermentación con o sin inóculo y tratamiento control sin fermentación, con tres repeticiones. Se hicieron muestreos a los cuatro tratamientos fermentados con tres repeticiones cada uno, al iniciar y al finalizar el proceso, los cuales fueron analizados a nivel microbiológico, para un total de 24 unidades experimentales.

Al inicio y durante los seis días del proceso se tomaron muestras líquidas de cada tratamiento fermentado, para medición de pH, temperatura interna y sólidos solubles, para las tres repeticiones un total de 84 unidades experimentales. Se realizaron análisis químicos (café verde) y sensoriales (café tostado) a los seis tratamientos en las tres repeticiones, sumando un total de 18 unidades experimentales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de tratamientos.

Proceso	Fermentación		No
	Con inóculo	Sin inóculo	
Natural	<sup>1</sup> T1	T2	T3
Lavado	T4	T5	T6

<sup>1</sup>Identificación de cada tratamiento.

### **Beneficio del café.**

El café fue cosechado en diferentes lotes de la Finca Kotowa ubicada en Boquete, Panamá a 1,700-1,800 msnm. Se empleó la variedad de café Caturra, tipo arábica, cosechado en su punto óptimo de corte, el café fue recolectado en sacos limpios para disminuir la contaminación a nivel microbiológico de las cerezas.

En cada repetición, la muestra homogénea cosechada se dividió en seis submuestras de 7 kg, obteniéndose tres muestras de café natural y tres muestras de café lavado. Para el estudio, se dividió el lote en café natural, que pasó a fermentación en bolsa y saco y café lavado, el cual después de ser cosechado, pasó a ser despulpado en una despulpadora marca Penagos y empacado en bolsa y saco despulpado con miel. A cada tratamiento se le dio un proceso diferente: natural sin enjuague y lavado (despulpado con miel), cada uno con y sin inoculación de levaduras, caracterizadas por maximizar el proceso de fermentación y realzar las características sensoriales del café y dos tratamientos control sin fermentación.

La preparación del inóculo se realizó por medio de una dilución de la levadura en agua a 30 °C en una relación de 1:10 (g/mL). El inóculo fue añadido a la masa al inicio del proceso, la proporción empleada por tratamiento se determinó siguiendo la relación 1:1000 (g/g) de levadura: café, la fermentación se realizó en bolsa y saco, con la instalación de una apertura con tapón en la base, para la extracción de las muestras líquidas para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

Al iniciar el proceso y cada 24 horas hasta finalizar la fermentación al día 6, se realizaron extracciones de muestras líquidas, para realizar mediciones de temperatura interna de la masa fermentable, pH con el método AOAC 981.12 (AOAC 2005) y sólidos solubles con el método AOAC 983.17 (AOAC 2005), por medio de un termómetro digital con sonda marca Acu-rite, potenciómetro marca Dr. Meter pH-100 y refractómetro portátil marca HHTEC, respectivamente. Al finalizar el tiempo de fermentación; los dos tratamientos de café natural con y sin inoculación, pasaron directamente a secado. Los dos tratamientos de café lavado (despulpado con miel, con y sin inóculo), se les hizo un enjuague mediante agitación, con el objetivo de remover el mucílago del café fermentado; se enjuagó hasta el punto donde el agua se tornó cristalina, lo que demostró que el mucílago fue removido completamente. Después del enjuague los tratamientos pasaron a secado.

### **Análisis microbiológico.**

Se tomaron muestras líquidas de aproximadamente 5 mL que fueron extraídas de la masa fermentable al inicio y final de la fermentación (0 y 6 días). Se efectuó el recuento de los microorganismos que intervinieron en la fermentación controlada, hongos y levaduras. Se realizó la esterilización de la cristalería, en autoclave a 121 °C, 18 lb de presión por 15 min. Se depositaron 9 mL de agua destilada esterilizada en cada tubo, las muestras se agitaron en el vórtex para homogenizarlas y se pasó 1 mL de muestra al primer tubo, que fue la solución madre para las demás diluciones, se realizaron diluciones en serie hasta  $10^{-6}$ . Se empleó la técnica de vaciado en placa, con el medio Agar Papa Dextrosa (PDA, por sus siglas en inglés), se sembraron las diluciones  $10^{-3}$  y  $10^{-6}$ . Una vez que se solidificó el medio, se dejaron incubando los platos durante 5 días, para el posterior recuento de hongos y levaduras.

**Secado.**

Se realizó un secado controlado estándar para el café en un cajón deshumidificador con termostato para control de temperatura (25-30 °C), hasta reducir la humedad del grano a 11%, que se verificó con un medidor de humedad marca SINAR™ AgriPro Modelo 6095.

**Descascarillado.**

Se realizó el trillado (descascarillado) para café utilizando la trilladora marca JM Estrada SA. de la finca, se limpió la maquinaria entre trillas para evitar contaminación cruzada, siguiendo el proceso estándar de la finca Kotowa.

**Análisis químicos.**

Se emplearon muestras de 100 gr de café verde, de cada tratamiento, que fueron debidamente empacadas en bolsa aluminizada con sellado térmico, para conservar sus propiedades y que pudieran ser transportadas hacia Medellín, Colombia, donde fueron analizadas en el laboratorio de análisis de alimentos Aoxlab.

**Contenido de fenoles totales.**

PROC-TC-127 Versión 1 2018.01.09 (Folin Ciocalteu). La cuantificación se hizo por medio de interpolación en curva de calibración que va desde aproximadamente 10 µg/mL hasta 50 µg/mL usando como patrón ácido gálico y reactivo de Folin Ciocalteu. Se pesaron aproximadamente 1.0 g de café verde en 10 mL de agua, se mezcló en el vórtex por 1 min, posteriormente se tomó una alícuota de la muestra y se le adicionó el reactivo de Folin Ciocalteu y Carbonato de Sodio para catalizar la reacción. Este análisis se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu, a pH básico, dando lugar a una coloración azul. Se esperó a que desarrollara color por una hora, luego se leyó la absorbancia a 720 nm y se interpoló la absorbancia obtenida de la muestra contra la curva de calibración del patrón de ácido gálico.

**Cafeína por cromatografía líquida.**

NTC ISO 20481. Para llevar a cabo la extracción de la cafeína a partir de las muestras de café verde se pesaron 0.5 g de cada una de las muestras. A continuación, se introdujo cada muestra en un matraz Erlenmeyer al que se le añadieron 0.5 g de MgO y 50 mL de agua bidestilada, se agitó y se llevó a un baño a 90 °C con agitación suave durante 20 min. Transcurrido este tiempo, las muestras se centrifugaron y filtraron empleando un filtro de celulosa regenerada de 0.45 µm. las disoluciones de los patrones se trasvasaron a un vial de cromatografía.

Por último, los viales se introdujeron en el muestreador automático del equipo, donde se inyectaron 20 µL en el equipo cromatográfico. Las condiciones cromatográficas empleadas fueron: “High Performance Liquid Chromatography” (HPLC), con “Photometric Diode Array” (PDA), detector de 272 nm, fase móvil A: metanol, fase móvil B: agua, modo de elución: isocrático 25% metanol. La cuantificación se realizó por medio de interpolación en curva de calibración (1.5 µg/mL hasta 25 µg/mL).

**Tostado y molienda.**

Se siguió el protocolo establecido por la SCAA para tostado y molienda de café, para la posterior catación. El tiempo de tostado fue de 7 a 10 minutos para cada muestra de 100 g para catación; se utilizó una tostadora marca Joper, modelo: CRG 100-1. Posteriormente se dejaron reposar las muestras, y se empacaron debidamente en bolsas plásticas para evitar la pérdida de las propiedades del café. La molienda de las muestras para catación se realizó en el molino de la Finca Kotowa marca Grindmaster modelo 810, justo antes de la catación, siguiendo lo establecido por la SCAA (2019).

**Análisis sensorial.**

Los análisis sensoriales se llevaron a cabo en la sala de cataciones de Kotowa Coffee y lo realizaron tres catadores, siguiendo los protocolos y métodos descrito por la SCAA (2019). Para la preparación de la infusión se usaron 12 g de café molido para cada taza, los cuales fueron pesados en una balanza marca Ohaus, modelo CS2000. Luego se preparó la mesa para la catación, depositando las muestras en las tazas para catación, marca Corona debidamente rotuladas con números de tres dígitos, para evitar sesgos en el análisis sensorial. Los catadores determinaron la fragancia de las muestras en seco (café molido), posteriormente se calentó agua hasta punto de ebullición en una tetera marca Proctor Silex modelo K4070Y y se procedió a verter el agua caliente a las tazas con las muestras de café molido, para que los catadores evaluaran aroma, cuerpo, acidez, sabor y regusto de las muestras analizadas.

**Análisis estadístico.**

Los datos fueron analizados con el programa “Statistical Analysis System” (SAS Versión 9.6®), por medio de un Análisis de Varianza (ANDEVA), con una separación de medias ajustadas (LS-MEANS) y una separación de medias Duncan a un nivel de significancia del 95%.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **Temperatura de la masa fermentable.**

Los microclimas privilegiados con los que cuenta el territorio panameño lo hacen sumamente apto para la producción de café Specialty con tendencia hacia la exportación (Madera y Torres 2016). Las áreas productivas cafeteras de altura del país se localizan principalmente en zonas como Renacimiento, Boquete, Volcán y Cerro Punta, con altitudes que van cercanas a los 1,000 msnm, hasta alcanzar los 2,500 msnm. Boquete, Volcán y Cerro Punta representan cerca del 55% de la producción de café en la Provincia de Chiriquí (Valdespino y Jaramillo 2011). El sector cafetalero de Boquete se ha logrado destacar en la región en los últimos años por los resultados exitosos que ha obtenido su café, en distintas competencias tanto a nivel local como internacional; estos resultados se deben entre otras cosas a condiciones agroclimáticas y al manejo cultural (Madera y Torres 2016). La interacción del proceso, con el inóculo y el tiempo influyó de manera significativa ( $P < 0.05$ ) en las variaciones de temperatura interna de la masa fermentable.

La temperatura al inicio del proceso de fermentación fue mayor, debido al calor de campo del producto (20 °C). Se presentó una tendencia decreciente durante la fermentación (Figura 1), presentando una menor disminución al día uno y del dos al seis no se evidenciaron cambios de temperatura ( $P > 0.05$ ). Las variaciones se debieron posiblemente, a que la temperatura de la masa fermentable depende hasta cierto punto de la temperatura y las condiciones ambientales donde se lleva a cabo el proceso de fermentación; que además influye en la proporción y tipo de aromas y sabores de la bebida, así como, las cantidades de sustancias volátiles del café tostado y del mucílago fermentado (Puerta y Echeverri 2015). La zona de Boquete presenta temperaturas que oscilan entre 14 y 22 °C y precipitaciones que van desde los 2,000 a 5,000 mm, al igual que suelos derivados de cenizas volcánicas con un horizonte superficial negro, de unos 45 cm de profundidad, ricos en materia orgánica (Valdespino y Jaramillo 2011).

La temperatura de fermentación en este estudio, osciló entre 13 y 20 °C, para favorecer la calidad final del café; ya que en estudios como el de Puerta y Echeverri (2015) al realizar análisis sensorial a diferentes muestras de café, encontraron que a una temperatura promedio de fermentación de 15 °C se presentó un incremento de sabores especiales, comparado con fermentaciones a temperaturas de 18 a 26 °C; además, a mayores temperaturas se pueden desarrollar sabores más fuertes y menos favorables como vinagre o umami. En este estudio, la temperatura de fermentación (13-20 °C), permitió alargar el tiempo de fermentación tradicional (48 a 60 h) hasta 144 h. Como lo explicaron Puerta y Ríos (2011). La temperatura tuvo un efecto en la velocidad de las degradaciones del mucílago de café, y esto hizo que las reacciones ocurrieran lentamente. La temperatura externa afectó el metabolismo mismo de los microorganismos, la velocidad y la clase de productos generados en la fermentación del café; de esta forma la actividad microbiana estuvo relacionada directamente a la temperatura interna de la masa fermentable (Puerta 2012).

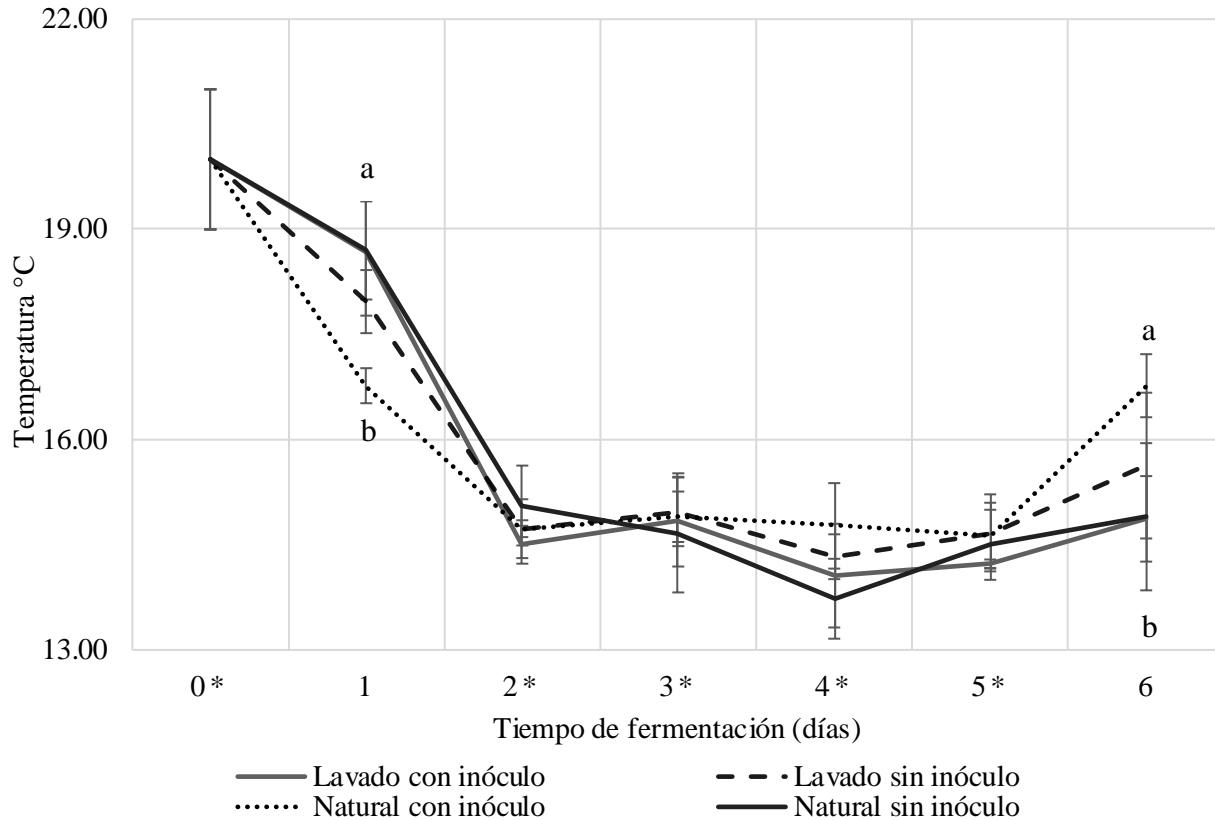


Figura 1. Temperatura de la masa durante la fermentación.

\*Indica que no hubo diferencia estadística. <sup>a-b</sup> Valores seguidos de una letra diferente en cada día, representan diferencia estadística entre tratamientos ( $P < 0.05$ ).

### pH.

El comportamiento del pH sirvió como un indicador del proceso de fermentación, asociado a la evolución de este, y, por lo tanto, se convirtió en una herramienta para el control del tiempo adecuado de fermentación del café, sin generarse problemas en la bebida, asociadas a este proceso (Córdoba y Guerrero 2016). El pH presentó una tendencia a disminuir en todos los tratamientos durante el proceso de fermentación (Cuadro 2). Esto puede deberse a un aumento de la acidez de la masa fermentable, que coincide con la producción de ácidos orgánicos a partir de los azúcares y del rompimiento de pectinas presentes en el mucílago (Peñuela *et al.* 2014; Córdoba y Guerrero 2016). El proceso, inóculo y el tiempo, al igual que su interacción por pares tuvo un efecto significativo ( $P < 0.05$ ) en el comportamiento del pH, sin embargo, al correlacionar los tres no se presentó diferencia estadística ( $P > 0.05$ ). Se obtuvo un pH menor en los tratamientos de café natural en comparación con los lavados, al inicio del proceso; ya que en la pulpa se concentran los azúcares y la acidez del fruto y debido a la presencia de enzimas provenientes de la pulpa, junto con la acción de los microorganismos se acidifica el medio (Arellano *et al.* 2014). El tratamiento que llevó una fermentación natural con inoculación de levaduras presentó una disminución del pH entre el día uno y dos ya que, durante la fermentación del café, el pH del sustrato disminuye más rápido en las primeras 20 horas por la formación y disociación de ácidos como son el ácido láctico, ácido acético y la acetificación del alcohol (Orozco 2019).

En la fermentación se generan metabolitos como el ácido láctico y consumo de sustrato a través del tiempo, que lleva a la modificación en el pH de la masa de café (Córdoba y Guerrero 2016). Se presentó una disminución del pH en los tratamientos lavados, en especial en el tratamiento de café lavado sin inoculación en las primeras 48 h, esta variación se debió probablemente a que el mucílago fue removido casi en su totalidad, lo cual llevó a producir ácidos mayor potencia, como el ácido láctico (Puerta 2012). Además, se obtuvo una disminución del 11.5% de pH en café natural, y del 20% en café lavado, durante el periodo de fermentación; ya que el pH del mucílago de café fermentado aumenta debido a la fermentación del ácido láctico, a la eliminación del dióxido de carbono, a la producción de otros ácidos más débiles, a sales y sustancias básicas que se disuelven por otras degradaciones y a mayor cantidad de azúcares disueltos en la mezcla, el pH puede aumentar (Puerta 2012; Orozco 2019). Cabe destacar que al finalizar la fermentación no hubo diferencia significativa entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ), a excepción del lavado sin inóculo que presentó menor pH, debido a que en los demás tratamientos las levaduras posiblemente produjeron ácidos de menor potencia resultando en un pH mayor (Velmourougane 2013).

Al final de la fermentación hubo diferencia significativa entre los tratamientos lavados, sin embargo, en los tratamientos de café natural no se presentaron diferencias. La diferencia en el comportamiento respecto al proceso se evidenció en el tipo de sustrato ya que en el café natural hubo presencia de pulpa, la cual está compuesta de azúcares, pectinas, fibra y otros compuestos químicos que se relacionan con el resultado final de estas degradaciones (Días 2011). Las variaciones de pH o acidificación del medio están relacionadas a la actividad microbiana y a la actividad enzimática (Puerta 2015). Debido a adición de levaduras a los tratamientos inoculados se pudo haber inhibido o modulado el crecimiento de otros microorganismos en el medio fermentativo por su competencia por nutrientes, es por esto por lo que se presentó una diferencia en el metabolismo de azúcares y los tipos de ácidos producidos a partir de los microorganismos presentes al relacionar la fermentación de los tratamientos que fueron inoculados y los que no fueron asistidos (Lallemand 2017).

### **Sólidos solubles.**

Se encontró una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en la concentración de sólidos solubles, al inicio de la fermentación y entre los procesos naturales y lavados (Cuadro 3). Esto puede ser explicado debido a que, en el fruto de café, los sólidos solubles están concentrados en el mucílago y la pulpa, que contienen principalmente: sacarosa, glucosa, fructosa, ácido málico, láctico, acético, succínico, oxálico, fórmico, fosfórico, galacturónico, etanol y otros alcoholes, ésteres, polisacáridos, proteínas y cenizas (Puerta 2012). El proceso, inóculo y el tiempo, al igual que su interacción por pares tuvo un efecto significativo ( $P < 0.05$ ) en el comportamiento de los sólidos solubles, sin embargo, al correlacionar los tres no se presentó diferencia estadística ( $P > 0.05$ ).

Los tratamientos que fueron inoculados presentaron una tendencia decreciente, durante el proceso de fermentación, lo cual concuerda con lo propuesto por Puerta (2012), quien estableció que los sólidos solubles en sistemas de fermentación de café sin agua e inoculados, a través del tiempo, muestran un decrecimiento exponencial a través del tiempo y los cambios son más lentos al disminuir la temperatura externa. Además, la levadura fue activada mediante la rehidratación, y su actividad inició desde la inoculación, por lo que su consumo del sustrato fue más acelerado reflejado en una reducción en sólidos solubles, en comparación con los tratamientos que no fueron inoculados.

Cuadro 2. Comportamiento del pH durante el periodo de fermentación.

<sup>1</sup> Proceso	<sup>2</sup> Inóculo	<sup>3</sup> Tiempo (días)						
		0	1	2	3	4	5	6
<b>Lavado</b>	<b>Con</b>	5.23 ± 0.02 <sup>aw</sup>	4.84 ± 0.19 <sup>ax</sup>	4.53 ± 0.21 <sup>aby</sup>	4.43 ± 0.12 <sup>by</sup>	4.44 ± 0.15 <sup>by</sup>	4.34 ± 0.14 <sup>by</sup>	4.29 ± 0.16 <sup>ay</sup>
	<b>Sin</b>	5.23 ± 0.02 <sup>aw</sup>	4.73 ± 0.28 <sup>ax</sup>	4.26 ± 0.15 <sup>cy</sup>	4.12 ± 0.12 <sup>cyz</sup>	4.13 ± 0.11 <sup>cyz</sup>	4.05 ± 0.17 <sup>cz</sup>	4.09 ± 0.15 <sup>byz</sup>
<b>Natural</b>	<b>Con</b>	5.01 ± 0.06 <sup>bw</sup>	4.45 ± 0.04 <sup>byz</sup>	4.67 ± 0.16 <sup>ax</sup>	4.68 ± 0.16 <sup>ax</sup>	4.66 ± 0.12 <sup>axy</sup>	4.57 ± 0.18 <sup>axyz</sup>	4.48 ± 0.16 <sup>ayz</sup>
	<b>Sin</b>	5.01 ± 0.06 <sup>bw</sup>	4.66 ± 0.27 <sup>ax</sup>	4.47 ± 0.06 <sup>bxy</sup>	4.46 ± 0.06 <sup>bxy</sup>	4.48 ± 0.02 <sup>abxy</sup>	4.39 ± 0.08 <sup>by</sup>	4.39 ± 0.07 <sup>ay</sup>
<sup>4</sup> CV (%)		3.95						

<sup>1</sup>Proceso fermentativo. <sup>2</sup>Explica si fue asistido o no con inóculo. <sup>3</sup>Promedio y desviación estándar de tres repeticiones. <sup>4</sup>Coefficiente de variación expresado en porcentaje. <sup>a-c</sup>Valores seguidos de una letra diferente en cada columna, representan diferencia estadística entre tratamientos ( $P < 0.05$ ). <sup>w-z</sup>Valores seguidos de una letra diferente en cada fila, representan diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).

Cuadro 3. Comportamiento de sólidos solubles durante el periodo de fermentación.

<sup>1</sup> Proceso	<sup>2</sup> Inóculo	<sup>3</sup> Tiempo (días)						
		0	1	2	3	4	5	6
<b>Lavado</b>	<b>Con</b>	8.67 ± 0.57 <sup>bw</sup>	8.33 ± 1.53 <sup>cwx</sup>	8.00 ± 1.00 <sup>bwxy</sup>	7.67 ± 1.15 <sup>cwxy</sup>	7.00 ± 0.00 <sup>bxy</sup>	6.67 ± 0.57 <sup>by</sup>	6.67 ± 0.57 <sup>cy</sup>
	<b>Sin</b>	8.67 ± 0.57 <sup>by</sup>	13.3 ± 1.53 <sup>bw</sup>	14.7 ± 0.57 <sup>aw</sup>	11.7 ± 2.08 <sup>bx</sup>	11.7 ± 1.53 <sup>ax</sup>	9.67 ± 0.57 <sup>ay</sup>	8.67 ± 0.57 <sup>by</sup>
<b>Natural</b>	<b>Con</b>	10.3 ± 0.57 <sup>aw</sup>	8.33 ± 1.53 <sup>cx</sup>	7.00 ± 0.00 <sup>bx</sup>	8.00 ± 0.00 <sup>cx</sup>	8.00 ± 1.00 <sup>bx</sup>	7.00 ± 0.00 <sup>bx</sup>	7.33 ± 0.57 <sup>bcx</sup>
	<b>Sin</b>	10.3 ± 0.57 <sup>ay</sup>	15.0 ± 0.00 <sup>aw</sup>	14.7 ± 0.57 <sup>aw</sup>	14.0 ± 0.00 <sup>awx</sup>	13.0 ± 1.00 <sup>ax</sup>	10.3 ± 0.57 <sup>ay</sup>	11.3 ± 0.57 <sup>ay</sup>
<sup>4</sup> CV (%)		8.94						

<sup>1</sup>Proceso fermentativo. <sup>2</sup>Explica si fue asistido o no con inóculo. <sup>3</sup>Promedio y desviación estándar de tres repeticiones. <sup>4</sup>Coefficiente de variación expresado en porcentaje. <sup>a-c</sup>Valores seguidos de una letra diferente en cada columna, representan diferencia estadística entre tratamientos ( $P < 0.05$ ). <sup>w-z</sup>Valores seguidos de una letra diferente en cada fila, representan diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).

En los tratamientos que no llevaron inóculo, se observó que hubo variaciones y se presentó una mayor concentración de sólidos ( $P > 0.05$ ) a partir de las 24 horas de fermentación. La medición de sólidos solubles es muy general pues incluye los carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas, grasas y minerales del fruto y en la ruptura de pectinas se libera una diversa cantidad de estos sólidos (Puerta y Ríos 2011) que luego fueron medidos por este método. Debido a que en la fermentación se produce por la degradación de compuestos químicos además de los azúcares, esto puede conllevar a la generación de diferentes tipos de ácidos, de mayor o menor potencia que se ve reflejado en las variaciones de pH; como lo explicado por Puerta y Echeverri (2015), quienes encontraron que durante la fermentación del café ocurren diferentes procesos bioquímicos, en los cuales las enzimas producidas por las levaduras y bacterias, presentes en el mismo mucílago fermentan y degradan sus azúcares, lípidos, proteínas y ácidos, y los convierten en alcoholes, ácidos, ésteres y cetonas.

### **Hongos y levaduras.**

Los microorganismos responsables de la fermentación son especies nativas que se originan de la contaminación natural del proceso, incluyendo levaduras, bacterias y hongos filamentosos (Iamanaka *et al.* 2014; Melo *et al.* 2015). En este estudio, las levaduras y hongos se encontraron presentes desde el inicio hasta el final de la fermentación (Cuadro 4). Según Huch y Franz (2015), la microbiota presente en el café depende de aspectos como: variedad de la planta, contenido de humedad del grano, método de procesamiento, competencia de sustrato, capacidad enzimática de las especies colonizadoras y su actividad antimicrobiana. Arcos (2017), encontró especialmente la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y los hongos *Aspergillus luchuensis* y *Penicillium* sp durante el proceso fermentativo. La población de hongos y levaduras no presentaron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos, sin embargo, este comportamiento en los resultados, pudo ser causado por la alta variación en el experimento, ocasionado probablemente por error humano en laboratorio y la naturaleza del estudio, ya que al ser un experimento de campo, el control de las condiciones para el desarrollo de los microorganismos en la fermentación es más difícil, por lo que factores exógenos como la temperatura y humedad relativa, pudieron influir en estas variaciones en el recuento de los microorganismos.

No existen reportes de que los hongos intervengan en la degradación del mucílago de las frutas de café (Schwan *et al.* 2015). Los hongos frecuentes en el café y sus partes son del género *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Trichoderma* (Puerta *et al.* 2015). Sin embargo, en un estudio se encontró que la pulpa del café es un medio apto para el desarrollo de microorganismos como hongos y bacterias, debido a su alto contenido de humedad, encontrando especies como: *Aspergillus niger*, *Aspergillus ochraceus*, *actinomycetos*, *Penicillium* sp, *Cladosporium* sp y levaduras (Payán 2011, Garrido *et al.* 2018). Cuando el proceso de fermentación no retira completamente el mucílago, se dificulta el proceso de secado y se crea un ambiente propicio para el desarrollo de hongos, los cuales pueden producir compuestos químicos como las micotoxinas y ácidos (propiónicos y butíricos), que confieren sabores no deseados, como el sabor a cebolla por ejemplo (Schwan *et al.* 2015). En cuanto a la presencia de hongos durante la fermentación, Vásquez (2004), comentó que si el mucílago no se remueve se produce una capa oscura en el grano que permite el crecimiento de hongos en el mismo (el mucílago tiene un alto contenido de azúcar lo cual estimula el crecimiento de hongos); estos defectos disminuyen la calidad del café y su posibilidad de exportación.

Cuadro 4. Recuento de hongos y levaduras al inicio y al final de la fermentación.

<sup>1</sup> Proceso	Inóculo	Hongos (Log/mL)	Levaduras (Log/mL)
Lavado	<sup>2</sup> Inicio	2.83 ± 1.51 <sup>a</sup>	1.76 ± 1.51 <sup>a</sup>
	<sup>3</sup> Con	1.76 ± 1.51 <sup>a</sup>	2.66 ± 1.33 <sup>a</sup>
	<sup>3</sup> Sin	2.43 ± 1.22 <sup>a</sup>	3.80 ± 0.14 <sup>a</sup>
Natural	Inicio	3.30 ± 0.42 <sup>a</sup>	1.77 ± 1.42 <sup>a</sup>
	Con	1.66 ± 1.83 <sup>a</sup>	1.79 ± 1.30 <sup>a</sup>
	Sin	0.70 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.80 ± 1.38 <sup>a</sup>
<sup>4</sup> CV (%)		49	65

<sup>1</sup>Proceso fermentativo. <sup>2</sup>Recuento inicial. <sup>3</sup>Recuento final. <sup>4</sup>Coefficiente de variación expresado en porcentaje. <sup>a</sup>Valores seguidos de una misma letra en cada columna, son estadísticamente iguales. (P > 0.05).

Las levaduras son organismos eucariotas, consideradas hongos unicelulares con gran diversidad de tamaños, formas y colores, de mayor tamaño que las bacterias, alcanzando un diámetro máximo entre 4 y 5 µm; la mayoría de las levaduras toleran un rango de pH entre 3 y 10, pero les resulta favorable un medio ligeramente ácido con un pH entre 4.5 a 6.5 (Suárez *et al.* 2016). Las levaduras son las encargadas de metabolizar y acelerar el proceso de fermentación, por lo que es fundamental mantener condiciones de temperatura mayores (condiciones mesófilas) para reducir el tiempo de fermentación del café (Orozco 2019), por lo anterior es posible deducir que, debido a las temperaturas bajas de fermentación, se redujo la actividad de las levaduras lo que permitió alargar el tiempo de fermentación hasta 144 horas.

La población de levaduras no presentó diferencias (P > 0.05), lo que concuerda con lo encontrado por Cruz y Pivaral (2018), en fermentación en un sistema cerrado, donde no se presentaron variaciones en el conteo de levaduras; sin embargo, en sistema abierto sí encontraron diferencias. Estos resultados discrepan de lo encontrado por Samaniego (2019), debido probablemente a que empleó maceración carbónica que propició un ambiente anaeróbico, al inhibir el crecimiento de otros microorganismos aeróbicos, favoreció el crecimiento de las levaduras. Velmourougane (2013) también reportó un aumento en la población de levaduras en la fermentación de café.

### Fenoles totales y cafeína.

Los compuestos fenólicos son ésteres que abarcan una amplia familia de compuestos que incluye flavonoides, ácidos fenólicos y taninos, de los cuales, los taninos equivalen a un porcentaje cercano al 95% del total de los fenoles presentes en las partes del fruto del café (Cuesta y Correa 2018). Además, uno de los grupos de compuestos fenólicos más importantes son los conjugados de ácido quínico, conocidos como ácidos clorogénicos (CGA), los granos de café poseen importantes cantidades de ácidos clorogénicos, los cuales tienen una marcada influencia en la calidad del café y, además, contribuyen a su aroma y sabor (Chaves y Esquivel 2019). La composición fenólica de las especies de *coffea arábica* es del 8%, y en el caso del café variedad Caturra se ha reportado

que tiene un contenido promedio de 6.97% de ácido clorogénico (Puerta 2011). La naturaleza de los fenoles varía desde moléculas simples como los ácidos fenólicos, hasta compuestos altamente polimerizados como los taninos (Figuroa *et al.* 2015).

Se encontró que independientemente del proceso, la inoculación no tuvo influencia ( $P > 0.05$ ) en la cantidad de fenoles totales (Cuadro 5), sin embargo, en algunos estudios como el realizado por Figuroa y colaboradores (2015) y Herrero (2017), se determinó que la composición fenólica se modificó durante la fermentación por la actividad de las levaduras, las cuales son capaces de metabolizar algunos de los compuestos fenólicos presentes. En café natural, se encontró un mayor ( $P < 0.05$ ) contenido fenólico en los tratamientos que fueron fermentados y se presentó un incremento del 61.5% en relación al que no fue fermentado. Debido probablemente a que en un mayor tiempo de fermentación los microorganismos actúan sobre la pulpa de café, lo que permite la extracción de un mayor número de compuestos fenólicos, porque el etanol producido actúa como un solvente para su obtención (Figuroa *et al.* 2015). La concentración de fenoles varía de acuerdo con la estructura, la mayor concentración se encuentra en la pulpa, en la piel y en el mucílago, respectivamente (Cuesta y Correa 2018); esto explica que en el proceso de lavado se mantuvo estable el contenido de fenoles presentes. En un estudio en cafés comerciales realizado en Panamá, Fonseca y colaboradores (2018) encontraron que el contenido de fenoles totales era mayor para el café puro variedad arábica, como el Geisha que obtuvo 36 a 46 mg/g. Esto coincide con lo encontrado en el presente estudio en café Caturra, el cual presentó una concentración menor a la de Geisha (18-29 mg/g). De acuerdo con esto, se podría inferir que los fenoles tienen influencia en el perfil de taza final.

Cuadro 5. Determinación del contenido de fenoles totales y cafeína.

<sup>1</sup> Proceso	<sup>2</sup> Inóculo	Fenoles totales mg/100 g	Cafeína mg/100 g
Lavado	<sup>3</sup> Control	1827 ± 447 <sup>c</sup>	1109 ± 166 <sup>a</sup>
	Con	2035 ± 488 <sup>bc</sup>	1050 ± 67 <sup>a</sup>
	Sin	2089 ± 529 <sup>bc</sup>	1068 ± 85 <sup>a</sup>
Natural	Control	1805 ± 849 <sup>c</sup>	1075 ± 62 <sup>a</sup>
	Con	2646 ± 1105 <sup>ab</sup>	1169 ± 16 <sup>a</sup>
	Sin	2933 ± 1062 <sup>a</sup>	1135 ± 51 <sup>a</sup>
<sup>4</sup> CV (%)		20.08	8.22

<sup>1</sup>Proceso fermentativo. <sup>2</sup>Describe si el proceso fermentativo se asistió o no. <sup>3</sup>Indica que no llevó proceso de fermentación. <sup>4</sup>Coefficiente de variación expresado en porcentaje. <sup>a-c</sup>Valores seguidos de una letra diferente en cada columna, representan diferencia estadística entre los seis tratamientos ( $P < 0.05$ ).

Según Naranjo y colaboradores (2011), los granos de café contienen antioxidantes como ácidos fenólicos (cafeico y clorogénico), polifenoles, cafeína y otros alcaloides; el contenido de estos componentes varía entre especies, lugar de origen y le proveen al café la calidad de alimento

funcional y nutracéutico. La cafeína es uno de los componentes más importantes, ya que contribuye en el amargor y en el efecto estimulante de la bebida; si es consumida moderadamente puede tener beneficios, como el aumento de disponibilidad de energía, concentración y disminución de la fatiga (Cheng *et al.* 2016). Independientemente de la inoculación y la fermentación no hubo diferencia significativa entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ), ya que no se ve afectada por los procesos y depende de la variedad del café y las condiciones de producción (Naranjo *et al.* 2011).

El contenido de cafeína de los tratamientos estuvo entre 1.05-1.1 g/100 g (Cuadro 5), que corresponde al rango encontrado por Farah (2012) para café Arábica que está entre 0.9-1.3 g/100 g con un contenido menor de cafeína en comparación con el Robusta que tiene una concentración entre 1.5-2.5 g/100 g, sin embargo, el arábica es más popular por su bajo contenido de cafeína, teniendo mayor aceptación por los consumidores.

### **Análisis sensorial.**

La catación también llamada evaluación sensorial de la calidad del café o prueba de taza, es el método usado para medir la intensidad de características sensoriales como acidez, dulzor, sabor, aroma y calidad total del café (SCAA 2015). Un café especial se caracteriza por el equilibrio de los atributos de acidez, cuerpo y amargura que están directamente relacionados con el proceso de beneficio, el tostado y la forma de preparación del café (Barrera *et al.* 2019). Según Cabrera y Burbano (2018) las características sensoriales del café dependen de la composición química del grano (contenidos de cafeína, trigonelina, lípidos, ácidos clorogénicos, oligosacáridos y polisacáridos); que, a su vez, depende de la especie, la variedad, el estado de desarrollo del fruto y el ambiente o condiciones de producción.

El perfil sensorial del café depende de la calidad desarrollada en los procesos agronómicos y en el beneficio, al igual que en el tostado donde se generan cambios físicos y químicos que promueven el desarrollo de componentes volátiles, como el aroma, el cual es un atributo característico del café (Santos *et al.* 2016). Se puede considerar que la formación del aroma característico, sabor y color resulta primero de la disminución drástica de los componentes del café verde, como la sacarosa, aminoácidos libres, ácidos clorogénicos y trigonelina, así como de la descomposición de polisacáridos y proteínas (Wei y Tanokura 2015).

Los tratamientos que obtuvieron los mayores puntajes fueron los fermentados (Figura 2); aunque estadísticamente fueron iguales, a nivel técnico o sensorial si hubo diferencia entre procesos (natural y lavado). Cabrera y Burbano (2018) describieron el café lavado como de cuerpo más ligero, taza más limpia, sabores más frutales, florales y acidez más intensa; el café natural tiene un cuerpo alto, baja acidez y sabor exquisito, sabores vinosos y con frutas intensas; el resultado en taza es dulce pues el grano seco junto con la pulpa y absorbe los azúcares de la fruta, lo que explica el mejor puntaje de taza de los tratamientos de café natural.

Independientemente del proceso, se comprobó el efecto positivo de la fermentación; al observar una diferencia en puntaje de taza de 0.8 puntos para café lavado y 1.16 puntos, para natural, en la comparación de los tratamientos que fueron fermentados respecto al control. Al contrastar los puntajes obtenidos en los tratamientos de café natural, es posible observar la diferencia ( $P < 0.05$ ) entre la puntuación del tratamiento control y los que fueron fermentados; sin embargo, respecto a la inoculación no hubo diferencia estadística. En el caso de los tratamientos lavados, se observó

diferencia ( $P < 0.05$ ) entre la puntuación del tratamiento control y los que fueron fermentados; la inoculación mejoró el puntaje de taza; lo que concuerda con lo encontrado por Cruz y Pivaral (2018) con un sistema de fermentación cerrada e inoculación con levaduras que obtuvo un mayor puntaje ( $P < 0.05$ ) debido al incremento en producción de compuestos volátiles detectados en análisis sensorial, produciendo sabores agradables en la catación. En el presente estudio los catadores catalogaron a todas las muestras como cafés especiales al darles un puntaje de taza superior a los 80 puntos. Los descriptores encontrados por los catadores para la mayoría de los tratamientos, fueron cacao y nuez; para los tratamientos de café lavado, cítrico y madera; para los tratamientos de café natural, fruta, para el tratamiento natural sin inóculo, cereal y herbáceo, para el tratamiento natural con inóculo, uva negra. Los compuestos volátiles asociados a los descriptores encontrados por los catadores en este estudio según Puerta y Echeverri (2015) son: 2 acetilfurano, Dihidro-2metil (3)-2H furanosa, Acetato de 2-furanmetanol.

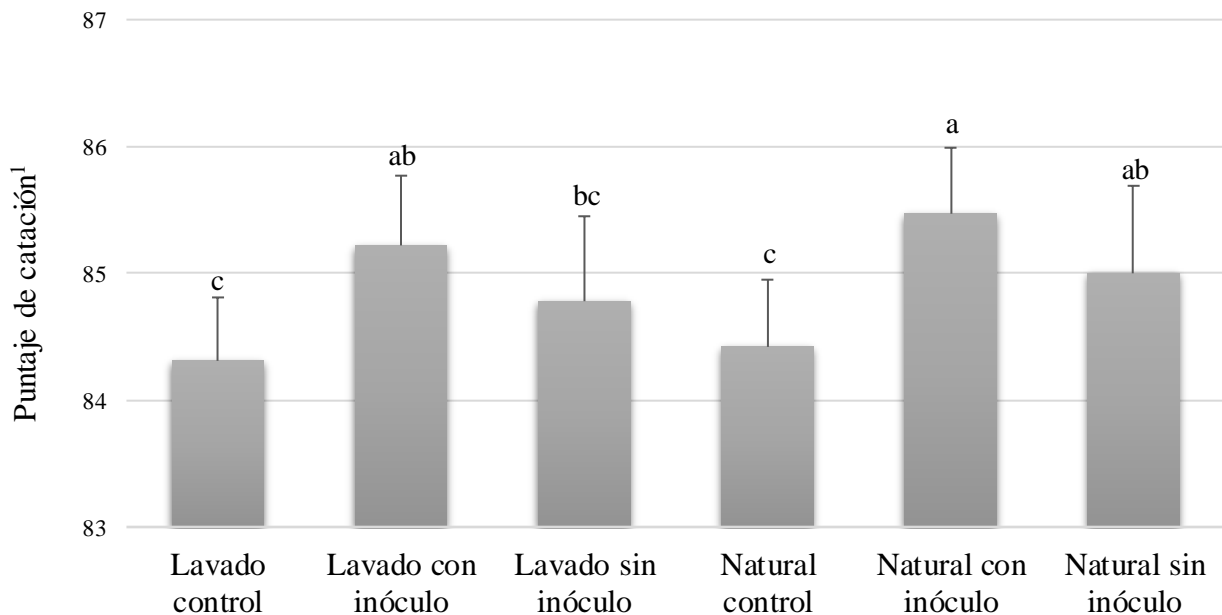


Figura 2. Resultados de cataciones realizadas a los seis tratamientos.

<sup>1</sup>Escala de puntuación de 0 a 100. <sup>a-c</sup> Las letras diferentes, representan diferencia estadística entre tratamientos ( $P < 0.05$ ).

La categoría de café se puede dividir en dos subcategorías: café tradicional (especie Robusta) y café especial (especie Arábica); esta subcategoría tuvo su auge a partir del año 2000 con la crisis mundial de los precios del café tradicional (Madera y Torres 2016). La especie *Coffea arabica* constituye el 60% del café que se comercializa en el mercado internacional (Cuesta y Correa 2018). El café especial se enfoca en percepciones de alta calidad y originalidad, y se define, por algunos agentes de la industria como, buena preparación de un único origen y sabor distintivo (Ponte 2003). En otros términos, los cafés especiales son aquellos que conservan una consistencia en sus características físicas (forma, tamaño, humedad, apariencia y defectos), sensoriales (olfativas,

visuales y gustativas), prácticas culturales (recolección, lavado, secado) y en sus procesos finales (tostado, molienda y preparación); características que los distinguen del común de los cafés y por las cuales los clientes están dispuestos a pagar un mayor precio (Cardona 2012).

Los tratamientos que obtuvieron los mayores puntajes fueron los fermentados; aunque estadísticamente fueron iguales. A nivel técnico o sensorial sí hubo diferencia entre procesos (natural y lavado), de igual forma, puede que dos muestras tengan el mismo puntaje, pero diferentes descriptores, lo que es determinante para el tipo de mercado al que estará dirigido. En el presente estudio, el descriptor diferenciador en el tratamiento con mayor puntaje de cata fue la uva negra para café natural con inóculo, por lo que se resalta la importancia de los procesos de fermentación en la mejora de los perfiles de taza y calidad del café. Esto último lleva a mercados exclusivos y beneficios económicos para el productor, que puede llegar hasta una diferencia de USD 1,000 por lb al comparar café especial con el café comercial (Velásquez y Trávez 2019).

## 4. CONCLUSIONES

- Hubo una reducción pH y temperatura interna durante la fermentación controlada; de igual forma, se redujo la concentración de sólidos solubles en los tratamientos inoculados, de café natural y lavado.
- Al momento de recuento de microorganismos no se observaron diferencias en la población de levaduras y hongos.
- Se encontró mayor concentración de compuestos fenólicos en los tratamientos de café natural que fueron fermentados y el proceso fermentativo no influyó en el contenido de cafeína de los tratamientos.
- La fermentación controlada influyó de manera positiva en la calidad final del café independientemente del proceso (natural y lavado) y la inoculación con *Saccharomyces cerevisiae*, mejoró la calidad de café lavado.

## 5. RECOMENDACIONES

- Realizar un mayor control de la metodología empleada, a nivel de laboratorio para el recuento de microorganismos.
- Hacer recuentos e identificación de los microorganismos (Bacterias, levaduras y hongos) que intervienen en la fermentación.
- Implementar el estudio en diferentes masas de café con el fin de determinar si se obtienen resultados similares, a los obtenidos en este estudio.
- Aplicar otras técnicas de fermentación controlada, como la maceración carbónica para evaluar su efecto en la calidad del café.
- Efectuar el estudio con diferentes variedades de café, tipo y concentración de microorganismos iniciadores, tiempo y temperatura de fermentación.
- Hacer mejoras a la metodología aplicada, mediante el control de las condiciones fermentativas como la temperatura y disponibilidad de oxígeno.
- Evaluar la correlación entre la producción de CO<sub>2</sub> y actividad microbiana.
- Realizar estudios a la pulpa del café para determinar el efecto de la degradación de la pulpa en el proceso fermentativo y calidad del café.
- Desarrollar el proceso fermentativo con temperatura controlada de 15, 17, 19 y 21 °C, realizando recuento de microorganismos en cada día de fermentación, y sacando muestras para catación cada día de fermentación.
- Analizar más a detalle los metabolitos presentes en las masas fermentables para determinar que sólidos se están produciendo y o consumiendo.
- Realizar un análisis estadístico de correlación entre pH, tiempo, temperatura y sabor.

## 6. LITERATURA CITADA

- Association of Analytical Communities, AOAC. 2005. AOAC Official Method 981.12 pH of Acidified Foods. [Consultado el 20 de ene. de 2020]. <http://www.eoma.aoac.org/methods/info.asp?ID=18372>
- Association of Analytical Communities, AOAC. 2005. AOAC Official Method 932.14 Solids in Syrups. [Consultado el 30 de ene. de 2020]. [https://members.aoac.org/AOAC\\_Docs/OMA/OMA\\_932.14\\_Revised\\_3-16-17.pdf](https://members.aoac.org/AOAC_Docs/OMA/OMA_932.14_Revised_3-16-17.pdf)
- Arcos Ávila CA. 2017. Efecto de la fermentación aerobia del grano de café orgánico, en el desarrollo de características sensoriales de la bebida en el Municipio de Pitalito. [Tesis]. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Pitalito Huila. 45 p; [consultado el 22 de ene. de 2020]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13481/83042763.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Arellano J, Ilich A, Salazar M, Rodríguez I, Alarcón W. 2014. Efecto de la temperatura y pH sobre la actividad y estabilidad de pectinasas producidas por *Bacillus spp.* R. Cient. de la Facultad de Ciencias Biológicas. 34(1):33–41.
- Avallone S, Brillouet M, Guyot B, Olguin E, Guiraud J. 2002. Involvement of pectolytic microorganisms in coffee fermentation. Int. J. Food Sci. 37(2):191–198. eng. doi:10.1046/j.1365-2621.2002.00556.
- Barrera B. ÓM, Gutiérrez G. N, Orozco-Blanco D. 2019. Caracterización y diferenciación de cafés, a partir de espectroscopía infrarroja. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 22(1). doi:10.31910/rudca.v22.n1.2019.1158.
- Borém F, Ribeiro F, Figueiredo L, Giomo G, Fortunato V, Isquierdo E. 2016. Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. J. of Stored Prod. 52:1–6. doi:10.1016/j.jspr.2012.08.004.
- Cabrera W, Burbano J. 2018. Conocer el perfil de taza generado mediante la implementación de los métodos de cafés naturales, honey y cafés lavados con la variedad castillo general en los asociados a la cooperativa departamental de caficultores del Huila. [Tesis]. Colombia: Universidad Nacional abierta y a distancia. Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente. 51 p; [consultado el 26 de jul. de 2020]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/25347>
- Cardona J. 2012. Cafés especiales: situación actual y aplicación del programa de calidad de café nespresso AAA, en el municipio de Jardín Antioquia. [Tesis]. Antioquia: Corporación Universitaria Lasallista. 22p; [consultado el 20 de jul. de 2020]. [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/623/1/CAFES\\_ESPECIALES\\_CAFE\\_NESPRESSO\\_AAA\\_JARDIN.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/623/1/CAFES_ESPECIALES_CAFE_NESPRESSO_AAA_JARDIN.pdf)

- Chaves E, Esquivel P. 2019. Ácidos clorogénicos presentes en el café: capacidad antimicrobiana y antioxidante. *Agron. Mesoam*; [consultado el 26 de jul. de 2020]. 30(1):299-311. doi:10.15517/am.v30i1.32974. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v30n1/2215-3608-am-30-01-00299>.
- Cheng B, Furtado A, Smyth H, Henry R. 2016. Influence of genotype and environment on coffee quality. *T. Food Sci Technol*. [consultado el 15 de jun. de 2020]; 57:20–30. doi:10.1016/j.tifs.2016.09.003.
- Córdoba N, Guerrero J. 2016. Caracterización de los procesos tradicionales de fermentación de café en el departamento de Nariño. *R. Bio. Agro*. [consultado el 20 de jun. de 2020]. 14(2):75–83. ISSN 1692-3561. [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(14\)75-83](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(14)75-83)
- Cruz I, Inder S, Muñoz S. 2019. Efecto de la adición de levadura (*Saccharomyces sp*) en el proceso de fermentación de café (*Coffea arabica*). *Rev. Inv. Agro Sust*. [consultado el 18 de mayo de 2020]. 3(1):28–36. es. doi:10.25127/aps.20191.480.
- Cruz J, Pivaral R. 2018. Evaluación del efecto de *Saccharomyces cerevisiae* sobre la caracterización sensorial del café en dos sistemas de fermentación. [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 17 p. [consultado el 20 de jul. de 2020]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6232/1/AGI-2018-T019.pdf>.
- Cuesta D, Correa F. 2018. Obtención de fenoles a partir de granos verdes de café. *Rev.ion*; [consultado el 25 de jul. de 2020]. 31(1):31–35. doi:10.18273/revion.v31n1-2018005.
- Dias A. 2011. Pulpa de café como fuente alternativa de antioxidantes [Tesis]. Ecuador: Universidad técnica particular de Loja. 79 p. [consultado el 25 de marzo. de 2020]. [http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/707/3/UTPL\\_D%C3%ADas\\_Curay\\_Alejandra\\_Tatiana\\_1064344.pdf](http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/707/3/UTPL_D%C3%ADas_Curay_Alejandra_Tatiana_1064344.pdf).
- Enríquez R, Chamorro H. 2017. Productividad y calidad en *Coffea arabica* l variedad Castillo y variedad Caturra. *Agrocien*. [consultado el 2 de jul. de 2020]. 2(1),7-17. <http://revistas.sena.edu.co/index.php/agroeccyt/article/view/90>.
- Farah A. 2012. Coffee: Emerging health effects and disease prevention. Ames, Iowa: IFT Press. [consultado el 2 de may. de 2020]. p. 21–58. ISBN-13: 978-0-470-95878-0.
- Figueroa E, Pérez F, Godínez L. 2015. La Producción y el consumo del café. México: ECORFAN. [consultado el 25 de jul. de 2020]. 184 p. ISBN: 978-607-8324-49-1.
- Folmer B. 2014. How can science help to create new value in coffee?. *F. Research Inter*. [consultado el 2 de jul. de 2020]. 63: 477-482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.020>.
- Fonseca L, Calderón L, Rivera M. 2014. Capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales en café y subproductos del café producido y comercializado en Norte de Santander (Colombia). [consultado el 10 de mar. de 2020]. In *Rev. Quím. Farm*. 21 (3): 228–236. ISSN 0121-4004.
- García E, Fernández I, Fuentes A. 2001. Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. Valencia: Universitat Politècnica de València. [consultado el 20 de mar. de 2020]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/>.

- García E, Fernández I, Fuentes A. 2011. Determinación de cafeína en café mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), ISO 20481. Valencia: Universitat Politècnica de València. [consultado el 20 de mar. de 2020]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1045631>.
- Garrido E, Hernández E, Espinoza N, Camas R, Quiroga R, Rincón M, Ferrera L. 2018. Identificación de hongos y micotoxinas asociadas a granos de café en Chiapas, México. *Rev. Agro.* 11(12): 57-64. doi:10: 57-64/agrop.v11i12.1307.
- Giraldo J, Niño C, Vianchá Z. 2017. Análisis de buenas prácticas en el proceso de beneficio del café: experiencia de estudio en el municipio de Viotá (Cundinamarca, Colombia). *Rev. Ing. Solidaria.* 13(22)121-135. <http://dx.doi.org/10.16925/in.v13i22.1839>.
- Herrero S. 2017. Comportamiento de tres cepas de levaduras seleccionadas sobre la composición polifenólica de las variedades Merlot, Garnacha y Cabernet Sauvignon. [Tesis]. Valencia: Universitat Politècnica de València, Escola Tècnica Superior D'Enginyeria Agronòmica I Del Medi Natural. 36 p; [consultado el 30 de jul. de 2020]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/85614?tl=A>
- Huch M, Franz M. 2015. Coffee: Fermentation and Microbiota. Max Rubent Institut. *Advances in Fermented Foods and Beverages.* 21:501-513. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-015-6.00021-9>.
- Iamanaka B, Teixeira A, Copetti M, Bragagnolo N, Taniwak M. 2014. The microbiota of coffee beans and its influence on the coffee beverage. *Food R. Inter.* 62:353-358. doi: 10.1016 / j.foodres.2014.05.023
- Lallemant. 2017. Levaduras seleccionadas para el proceso húmedo del café Lalcafé Oro. Lalcafé. [Internet]. Estados Unidos. [Consultado el 11 de sep. de 2020]. <https://www.lalcafeyeast.com/wp-content/uploads/2018/04/fiche-ORO-30-espagnol.pdf>
- López C, Rojas P, Montaña L, Tovar E, Rojas Y, Arcos C, Ordoñez C, Vega G. 2017. Estudio de algunas variables en el proceso de fermentación de café y su relación con la calidad de taza en el sur de Colombia. *Rev. Agrocien.* 3(1), 22-33. ID: 125713346.
- Madera P, Torres E. 2016. Plan De Marketing Café Specialty Panameño [Tesis]. Panamá: Universidad de Chile, Economía y negocios. 87 p; [consultado el 30 de jul. de 2020]. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/145754/Madera%20Mateo%20Patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Oestreich S. 2014. Chemistry of Coffee. Reference module in chemistry, molecular sciences and chemical engineering. 1a Ed. Estados Unidos. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.02786-4>.
- Melo G, Neto E, Soccol V, Pedroni A, Lorenci C. 2015. Conducting starter culture-controlled fermentations of coffee beans during on-farm wet processing: Growth, metabolic analyses and sensorial effects. *J. F. Inter.* 75: 348-356. doi: 10.1016 / j.foodres.2015.06.027.

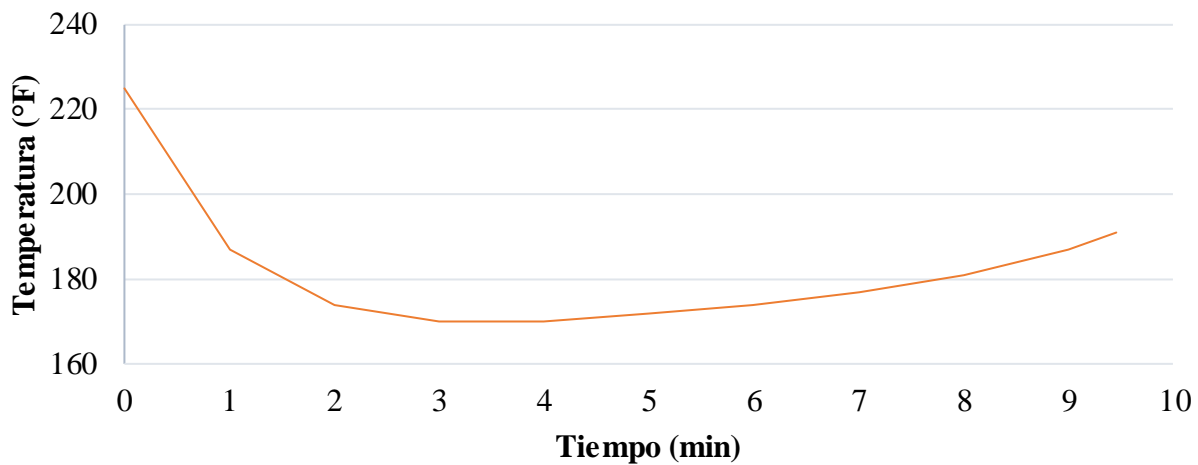
- Mendoza J. 2019. Tiempo óptimo de fermentación de variedades de café, procedentes de parcelas agroforestales de Jaén y San Ignacio. Jaén, Perú: Universidad Nacional de Jaén. 100 p; [consultado el 15 de nov. de 2019]. [http://m.repositorio.unj.edu.pe/bitstream/handle/UNJ/61/Mendoza\\_GJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://m.repositorio.unj.edu.pe/bitstream/handle/UNJ/61/Mendoza_GJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Naranjo M, Vélez L, Rojano B. 2011. Actividad antioxidante de café colombiano de diferentes calidades. *Rev Cubana Plant Med.* 16(2):164–173. ES. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=36127>.
- Orozco N. 2019. Planificación y Sistemas de control de variables para la Fermentación del café en Guatemala. *Revista de Ingeniería y Ciencia*; [consultado el 21 de jun. de 2020]. 1: 32-44. <https://1library.co/document/qodk665z-planificacion-sistemas-control-variables-fermentacion-cafe-guatemala.html>.
- Payán C. 2011. Aislamiento, identificación y conservación de microorganismos presentes en residuos lignocelulósicos (pulpa) provenientes del beneficio del café [Especialización en microbiología industrial]. Manizales: Universidad Católica de Manizales. 68 p; [consultado el 1 de ago. de 2020].
- Peñuela A, Oliveros C, Sanz J. 2014. Remoción del mucílago de café a través de fermentación natural. [Consultado el 11 de sep. de 2020]. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/494>.
- Pérez L, Chávez K, Medina L, Gámez N. 2015. Compuestos fenólicos, melanoidinas y actividad antioxidante de café verde y procesado de las especies *Coffea arabica* Y *Coffea canephora*. *BT.* 15(1):51. <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v31n1/0120-100X-rion-31-01-31.pdf>. doi:10.18633/bt.v15i1.136.
- Ponte S. 2003. Estándares, comercio y equidad: Lecciones de la industria de los cafés especiales. [consultado el 6 de jul. de 2020]. <http://www.comitedecafeteroscaldas.org/static/files/2.estandarescomercioequidad.pdf>.
- Puerta G, Marín M, Osorio G. 2015. Microbiología de la fermentación del mucílago de café según su madurez y selección. In *0120-0275*. [consultado el 26 de jul. de 2020]. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/536>.
- Puerta G, Echeverri J. 2015. Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar calor a la calidad. *Cenicafé*; [consultado el 26 de jul. de 2020]. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0454.pdf>.
- Puerta G, González F, Correa A, Álvarez I, Ardila J, Girón O, Ramírez C, Baute J, Sánchez P, Santamaría M, *et al.* 2016. Diagnóstico de la calidad del café según altitud, suelos y beneficio en varias regiones de Colombia. *Cenicafé*; [consultado el 21 de jun. de 2020]. 2(67).
- Puerta G. 2011. Composición química de una taza de café. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). ISSN - 0120 - 0178 . ; [consultado el 26 de jul. de 2020]. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt04142.pdf>
- Puerta G. 2012. Factores procesos y controles en la fermentación del café. [Digital repository of the National Coffee Research Centre - CENICAFE: Centro Nacional de Investigaciones de

- Café (Cenicafé); [actualizado el 7 de ene. de 2020.000Z; consultado el 28 de may. de 2020]. [http:// biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/327](http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/327).
- Puerta G; Ríos A. 2011. Composición química del mucílago de café según el tiempo de fermentación y refrigeración. *Cenicafé* 62(2):23-40.
- Puerta G. 2015. Factores procesos y controles en la fermentación del café. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). UR -[consultado el 26 de jul. de 2020]. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/327>.es.
- Salamanca C. 2015. Métodos estadísticos para evaluar la calidad del café [Doctoral]. España: Universat de Girona. 168 p; [consultado el 21 de jun. de 2020].
- Samaniego M. 2019. Evaluación de maceración carbónica y adición de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) durante el lavado de café Geisha (*Coffea arabica*) [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 10 p. [consultado el 20 de jul. de 2020]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6507/1/AGI-2019-T054.pdf>
- Santos J, Viegas O, Páscoa N, Ferreira M, Rangel O, Lopes J. 2016. In-line monitoring of the coffee roasting process with near infrared spectroscopy: Measurement of sucrose and colour. *Food Chem.* 208:103-110. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.114>
- Schwan R, Fleet G, Afoakwa E. 2015. Cocoa and coffee fermentations. Boca Raton, Florida: CRC Press. 0<sup>th</sup> ed. Fermented Foods and Beverages Series.
- Specialty Coffee Association of America. 2015. SCAA Protocols, Cupping Specialty Coffee (Inf. T´ec.). 1-10 p. [consultado el 3 de jun. de 2020]. <https://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>
- Specialty Coffee Association. 2019. Protocolos. Seattle, USA: SCAA. [consultado el 2 de feb. de 2020]. [https:// sca.coffee/research/ protocols-best-practices?page=resources&d=coffee-protocols](https://sca.coffee/research/protocols-best-practices?page=resources&d=coffee-protocols).
- Suárez C, Garrido NA, Guevara CA. 2016. Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. ICIDCA; [consultado el 2 de abr. de 2020]. 50(1):20–28. [https:// dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/11753/teasr1de1.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/11753/teasr1de1.pdf?sequence=5&isAllowed=y).
- Valdespino E, Jaramillo J. 2011. Caracterización del Sistema Productivo de café en Tierras Altas de la provincia de Chiriquí. [Proyecto de Zonificación Agroecológica (PRONAZA)]. Panamá: MIDA. 71 p. ; [consultado el 30 de jul. de 2020].
- Vásquez, M. 2004. Pasos para el beneficio húmedo y ecológico de café de calidad. Available online at <http://santic.rds.hn/wp-content/uploads/2013/06/pasos-para-el-beneficio-humedo-y-ecologico-de-cafe.pdf>.
- Vega A, Reyes S, De León J, Bonilla A, Franco H. 2014. Cuantificación de cafeína en cafés comerciales de Panamá. 1. 30(2). es. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cienciaytecnologia/article/view/20346>.
- Velásquez C, Trávez M. 2019. Café especial, una alternativa para el sector cafetero en Colombia. Medellín: Universidad EAFIT, Escuela de economía y finanzas. 36 p; [consultado el 1 de ago. de 2020].

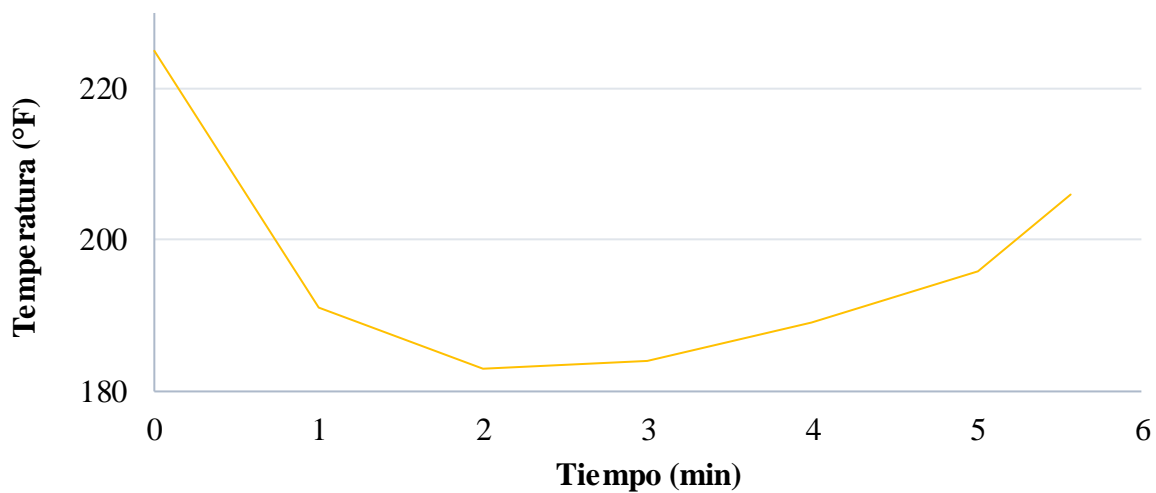
- Velmourougane K. 2013. Impact of Natural Fermentation on Physicochemical, Microbiological and Cup Quality Characteristics of Arabica and Robusta Coffee.
- Wei F; Tanokura M. 2015. Chapter 10 - Chemical Changes in the Components of Coffee Beans during Roasting, In *Coffee in Health and Disease Prevention*, edited by Victor R. Preedy, Academic Press: p.83-91.
- Worku M, Meulenaer B de, Duchateau L, Boeckx P. 2018. Effect of altitude on biochemical composition and quality of green arabica coffee beans can be affected by shade and postharvest processing method. *Food Res Int.* 105:278–285. eng. doi:10.1016/j.foodres.201

## 7. ANEXOS

**Anexo 1.** Curva de tostado para catación de café natural Kotowa.



**Anexo 2.** Curva de tostado para catación de café lavado Kotowa.



**Anexo 3.** Descriptores de los tratamientos en catación.

<sup>1</sup> Proceso	<sup>2</sup> Inóculo	Descriptor	Regusto
Lavado	<sup>3</sup> Control	Cítrico, nuez, cacao, madera	Seco, amargo
	Con	Nuez, cítrico, madera, cacao	Seco, picante
	Sin	Cítrico, nuez, herbáceo, cacao, madera, fruta	Áspero, amargo
Natural	Control	Fruta, herbáceo, madera, nuez, cacao	Picante, áspero
	Con	Fruta, cacao, nuez, uva negra.	Seco, áspero
	Sin	Fruta, nuez, cereal, cacao, umami	Seco, áspero

<sup>1</sup>Proceso fermentativo. <sup>2</sup> Describe si el proceso fermentativo se asistió o no. <sup>3</sup>Indica que no llevó proceso de fermentación.

**Anexo 4.** Nivel de significancia y correlación de factores en temperatura interna.

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Proceso	1	0.05	0.05	0.12	0.7315
Inóculo	1	0.00	0.00	0.00	0.9453
Tiempo	6	342.82	57.14	142.76	<.0001
Proceso*Inóculo	1	0.49	0.49	1.22	0.2746
Proceso*Tiempo	6	2.32	0.39	0.97	0.4558
Inoculo*Tiempo	6	2.80	0.47	1.17	0.3375
Proceso*Inóculo*Tiempo	6	11.53	1.92	4.80	0.0005

**Anexo 5.** Nivel de significancia y correlación de factores en sólidos solubles.

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Proceso	1	0.30	0.30	22.85	<.0001
Inóculo	1	0.50	0.50	38.62	<.0001
Tiempo	6	5.65	0.94	72.24	<.0001
Proceso*Inóculo	1	0.07	0.07	5.35	0.0245
Proceso*Tiempo	6	1.03	0.17	13.22	<.0001
Inoculo*Tiempo	6	0.29	0.05	3.75	0.0034
Proceso*Inóculo*Tiempo	6	0.04	0.01	0.54	0.7743

**Anexo 6.** Nivel de significancia en fenoles y cafeína.

Source	Fenoles Totales Pr > F	Cafeína Pr > F
Proceso	0.047	0.1783
Inoculo	0.054	0.9214
Proceso*Inoculo	0.267	0.2456

**Anexo 7.** Nivel de significancia y correlación de factores en pH.

<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Type I SS</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Proceso</b>	1	19.05	19.05	24.48	<.0001
<b>Inóculo</b>	1	360.43	360.43	463.15	<.0001
<b>Tiempo</b>	6	92.62	15.44	19.84	<.0001
<b>Proceso*Inóculo</b>	1	5.76	5.76	7.40	0.0087
<b>Proceso*Tiempo</b>	6	10.62	1.77	2.27	0.0498
<b>Inoculo*Tiempo</b>	6	97.90	16.32	20.97	<.0001
<b>Proceso*Inóculo*Tiempo</b>	6	3.24	0.54	0.69	0.6558