



## Evaluación físico-química y organoléptica de café arábigo sometido a fermentación controlada

Juliana Lilibeth CÓRDOVA-ZAMBRANO \*<sup>1</sup>, Maria Monserrath MORALES-PADILLA <sup>1</sup>,  
José Miguel FERNÁNDEZ-ARIAS <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.  
<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano Alto, Loja, Ecuador.  
\*E-mail: maria.morales1144@utc.edu.ec

Enviado: 26/09/2025; Aceptado: 18/11/2025; Publicado: 22/12/2025.

**RESUMEN:** El objetivo de este estudio fue identificar el efecto de la adición de las cepas S-33 y S-04 de *Saccharomyces cerevisiae* y de *Lactobacillus casei* en la fermentación controlada, con el fin de determinar los atributos físico-químicos del café verde y su efecto en las características organolépticas. Haciendo uso de un modelo estadístico completamente al azar. Tanto para la cuantificación de polifenoles totales como para la de antioxidantes, los resultados se expresaron en mg EAc. gálico/mL de extracto. Para la determinación de DPPH, FRAP se utilizó como estándar Trolox ( $\mu\text{mol ET/mL}$  de extracto). Según la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ), no se determinó diferencia estadísticamente significativa en la determinación de sólidos solubles ( $^{\circ}\text{Brix}$ ), pH, polifenoles totales y antioxidantes por ABTS y FRAP. Por otra parte, se halló diferencia estadística de actividad antioxidantes mediante DPPH, así como para los atributos organolépticos, los cuales muestran que el tratamiento *S. cerevisiae* S-33 con *L. casei*, se caracterizaron por tener mayor dulzor, cuerpo, acidez, presentando una alta correlación lineal positiva con una asociación directa con estos atributos y su actividad antioxidante; esto puede deberse a que los fenoles del café son hidrófilos, por lo cual se observaron diferencias para DPPH, y que implica un aspecto determinante en la actividad antioxidante a efectos del proceso de determinación de antioxidantes y la obtención de sus características sensoriales.

**Palabras clave:** café; fermentación; ABTS; DPPH; FRAP; polifenoles.

## Physicochemical and organoleptic evaluation of arabica coffee subjected to controlled fermentation

**ABSTRACT:** The objective of this study was to identify the independent effect of the addition of *Saccharomyces cerevisiae* S-33 and S-04 strains and *Lactobacillus casei* on the physicochemical attributes of green coffee. Using a completely random statistical model. For both the quantification of total polyphenols and antioxidants, results were expressed as milligrams of gallic acid equivalent per milliliter of extract. For DPPH determination, FRAP was used as the Trolox standard. According to the Tukey test ( $P < 0.05$ ), there was no statistically significant difference in the present study for the determination of soluble solids (or  $^{\circ}\text{Brix}$ ), pH, total polyphenols, antioxidants by ABTS and FRAP. On the other hand, statistical differences were found in antioxidants using DPPH, as well as for organoleptic attributes, which show that the *S. cerevisiae* S-33 treatment with *L. casei* was characterized by greater sweetness, body, and acidity, presenting a high positive linear tension, and a direct association with these attributes. This may be due to the fact that coffee phenols are hydrophilic, which is why differences were observed for DPPH, which implies a determining aspect in the processes of determining antioxidants. And better sensory attributes through the addition of microorganisms

**Palavras-chave:** coffee; fermentation; ABTS; DPPH; FRAP; polyphenols.

### 1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, el cultivo de café se ha ubicado entre los ocho primeros en superficie cosechada y se produce en 23 provincias del país, lo que demuestra la gran importancia socioeconómica del sector. Sin embargo, hay poco control de los procesos en la finca, en particular en la fermentación, el lavado y el secado, lo que ocasiona defectos, contaminaciones y falta de consistencia en la calidad del producto, pérdidas económicas para los caficultores y el desaprovechamiento de mercados. Darle valor agregado al café es, entonces, una alternativa para ofrecer cafés especiales.

La producción de ácido por bacterias ácido-lácticas posiblemente permite modificaciones del sabor, como una

mejora en la formación de O-heterociclos tipo caramelo y una elevación de la acidez en los granos de café tratados, lo que favorece el control microbiano durante la fermentación (WANG et al., 2019b). Es importante considerar el papel de los microorganismos en la fermentación del café, ya que contribuyen a eliminar el mucílago y a generar metabolitos que inciden en el sabor y el aroma de la bebida. Los microorganismos provienen de diferentes fuentes: algunos se encuentran intrínsecamente, y otros pueden provenir del ambiente o de insectos.

El uso de iniciadores microbianos puede mostrar un comportamiento distinto según la variedad de café y el método de procesamiento, lo que se traduce en bebidas con

características sensoriales distintas y positivas, debido a las enzimas extracelulares y a los ácidos orgánicos producidos durante la fermentación de levadura. El metabolismo de las levaduras puede conducir a la hidrólisis de macromoléculas, lo que genera precursores importantes del aroma, como azúcares reductores, aminoácidos y ácidos clorogénicos (GUZMÁN, 2021).

Durante la fermentación ocurren transformaciones de los componentes que dan forma a la fermentación del café, en primer lugar, las bacterias del mucílago por medio de sus enzimas naturales oxidan los azúcares produciendo energía a partir de la molécula de trifosfato de adenosina (ATP), según entre los cuales se encuentran el etanol, ácido láctico, ácido acético y dióxido de carbono. Por otra parte, se obtienen otros tipos de alcoholes, entre ellos el propanol y el butanol, así como ácidos como el succínico, el fórmico y el butírico, y sustancias olorosas como aldehídos, cetonas y ésteres (TAPIERO, 2023).

La fermentación de cultivos mixtos puede introducir nuevos moduladores sinérgicos del sabor mecanismos que ampliarían aún más la complejidad sensorial del café resultante (WANG et al., 2020a) La biotransformación compleja durante la fermentación controlada inevitablemente trae consigo la diversificación del sabor y cambios en los metabolitos, mejorando las propiedades funcionales del café, además la fermentación anaeróbica ofrece condiciones óptimas, lo que permite una mayor producción de ácido láctico y contribuye a un mejor sabor de los cafés.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de una fermentación controlada sobre las características físico-químicas y organolépticas.

## 2. MATERIAL AND METHODS

### 2.1. Descripción del sitio y diseño experimental

Se utilizó café arábigo de variedad Typica Mejorada cultivado en la parroquia Malacatos, Provincia de Loja a una altura 1 448 m s.n.m en las siguientes coordenadas latitud 4° 13' 45,73" S, y longitud 79° 16' 24,94" W. El clima predominante en el sector es subtropical – seco, con una temperatura promedio de 20,6 °C y una precipitación anual de 647 mm. Cultivo implementado bajo un sistema de riego por goteo, con una densidad de 3500 plantas/ha, bajo un manejo químico moderado, sin sombra.

Para el proceso de fermentación primero se procedió a desinfectar la cereza con hipoclorito de sodio al 1 % (López, 2011) para controlar la oxidación y contaminación, posterior a esto se realizó el despulpado y se inoculó 1 g por kg de café em pergaminho con las cepas S-04 y S-33 de *Saccharomyces cerevisiae* (Lallemand, 2023) y 0.1 g por kg de *Lactobacillus casei*, en base a la metodología modificada empleada por López et al. (2013). La investigación se desarrolló en un diseño completamente al azar bajo el siguiente modelo:

$$Y = \mu + T + \varepsilon \quad (01)$$

donde:  $Y$  = variable de respuesta;  $\mu$  = media general;  $T$  = efectos asociados al tratamiento;  $\varepsilon$  = efecto asociado al error.

Los tratamientos se establecieron en función de 5, como se indica en la Tabla 1. Obteniendo así 20 unidades experimentales (1 kg de cada UE) y 4 repeticiones por tratamiento en el estudio.

Tabla 1. Delineamiento de tratamientos empleados.

Table 1. Outline of treatments used.

Tiempo	Fermentación	Tratamiento
48 horas	S-33	T1
48 horas	S-04	T2
48 horas	S-33+ L	T3
48 horas	S-04 + L	T4
48 horas	Testigo	T5

Nota. T1 (*Saccharomyces cerevisiae* S-33), T2 (*Saccharomyces cerevisiae* S-04), T3 (*Saccharomyces cerevisiae* S-33 con *Lactobacillus casei*), T4 (*Saccharomyces cerevisiae* S-04 con *Lactobacillus casei*), T5 (Testigo).

### 2.2. Determinación °Brix y pH

La medición de grados Brix se realizó mediante un refractómetro digital HI96800, mientras que para determinar el pH se empleó un medidor portátil pH/EC/TDS/TEMP Hanna Hi 9811-5, de acuerdo con la técnica propuesta por la AOAC (1984).

### 2.3. Preparación de la muestra de café verde

Tanto para la cuantificación de polifenoles totales como de antioxidantes se empleó el método de Swain y Hillis y modificado por Thaipong et al. (2006). Para reducir el tamaño del grano, se empleó un molino de tornillo. Posteriormente, se sometieron las muestras de café verde de cada proceso de fermentación a un molino Ultra Centrifuga ZM 200 Retsch GmbH hasta pulverizarlas. Posteriormente, se pesaron 100 mg de cada muestra de café en triplicado.

Para la extracción, se agregaron 20 mL de metanol al 50 % y se agitó durante una hora en un agitador horizontal GFL-3018, a una velocidad de 180 rpm. Después de este tiempo, se utilizó un baño ultrasónico Branson MH 3800 durante 15 min a temperatura ambiente en cada extracción.

Posteriormente, las muestras fueron colocadas en la centrifuga Thermo Scientific Sorvall SR8, a una velocidad de 4500 rpm durante 30 minutos. Para luego separar la parte sólida del líquido empleando papel de filtro, obteniendo el sobrenadante de la mezcla metanol + muestra líquida. Luego, al residuo se le agregaron 20 mL de acetona al 70 %, se agitó durante 1 hora, y se procedió a emplear la centrifuga por 30 minutos para finalmente separar el líquido del sólido y añadirle al sobrenadante inicial. Se guardaron las muestras en tubos de centrifuga en el interior de la refrigeradora, cubiertos con papel aluminio hasta proceder a realizar los respectivos análisis.

### 2.4. Determinación de polifenoles totales

El método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, adaptado por Swain y Hillis y modificado por Thaipong et al. (2006), se utilizó para la cuantificación de polifenoles totales, expresando los resultados como miligramos equivalentes de ácido gálico por mililitro de extracto (mg EAc. gálico/mL de extracto), el factor de dilución de las muestras fue de 10. Para cuantificar las muestras, se preparó la solución madre de ácido gálico  $y$ , posteriormente, se diluyó en diferentes concentraciones para elaborar la curva de calibración. La lectura de las muestras evaluadas se realizó a una longitud de onda de 725 nm con el espectrofotómetro UV-Visible Genesis 40.

### 2.5. Determinación de capacidad antioxidante actividad de eliminación de radicales DPPH

La actividad de eliminación de radicales 2,2'-difetil-2-picril-hidrazilo (DPPH·) de las muestras de extracto de

granos de café se determinó mediante el método descrito por Swain y Hillis y modificado por Thaipong et al. (2006). Para la preparación de la solución madre se pesaron 24 mg de DPPH y se disolvieron en 100 mL de MeOH. Posteriormente, para preparar la solución de trabajo de DPPH "ST", se tomaron 10 mL de la SM y se adicionaron 45 mL de MeOH. Se midió la absorbancia a 515 nm. Finalmente, para la preparación de los estándares se tomaron 12,5 mg de Trolox y se aforó a 50 mL con MeOH, a una concentración de 1029  $\mu\text{mol}$ . La actividad de eliminación de radicales DPPH se calculó en equivalentes de Trolox y los resultados se expresan como micromoles equivalentes de Trolox por mililitro de extracto ( $\mu\text{mol ET/mL}$ ). El factor de dilución fue de 3.

### 2.6. Determinación de capacidad antioxidante a través del ensayo de captación de ABTS [Ácido 2,2'-Azino-Bis-(3-Etillbenzotiazolin-6-Sulfónico)]

La capacidad antioxidante se estimó mediante la reducción colorimétrica, según Swain y Hillis y modificada por Thaipong et al. (2006), quienes describieron el uso de la curva de calibración de Trolox, monitoreando la absorbancia a 734 nm con un espectrofotómetro UV-visible. Los resultados se expresaron como micromoles equivalentes de Trolox por mililitro de extracto ( $\mu\text{mol ET/mL}$ ). El factor de dilución de las muestras fue de 30.

### 2.7. Determinación de la capacidad antioxidante mediante el ensayo FRAP

Para la determinación de la capacidad antioxidante mediante el método de reducción de metales (FRAP), se realizó según el método descrito por Swain y Hillis y modificado por Thaipong et al. (2006). Se empleó, además, Trolox como patrón de referencia y, por ende, los resultados se expresaron como micromoles equivalentes de Trolox por mililitro de extracto ( $\mu\text{mol ET/mL}$ ). Para la lectura de las muestras se utilizó un factor de dilución de 25.

### 2.8. Catación

La evaluación sensorial se realizó según el protocolo de tostado y catación (SCA, 2024). El equipo utilizado para el tueste fue una tostadora Lab Sample Roaster TC-300R/G, con la que se tostaron 100 g de café verde y las muestras se llevaron hasta un nivel de tueste medio según la escala colorimétrica.

Para la catación del café, se prepararon cinco tazas por muestra de la siguiente manera: 13,2 g de café con molienda media, dispuestos en una taza de porcelana de 240 ml; se adicionaron 100 ml de agua a  $\pm 93^\circ\text{C}$  y, después de cuatro minutos de extracción, se procedió a la evaluación de las muestras. Para la prueba se contó con dos catadores certificados en Q-Grader Arábica, quienes describieron y calificaron de forma independiente características como aroma, fragancia, acidez, cuerpo, dulzor, sabor, sabor residual y equilibrio (PAZMIÑO; RUÍZ, 2023).

### 2.9. Recopilación y Análisis de datos

Todos los datos recolectados en el laboratorio fueron analizados en el software estadístico INFOSAT y en R, donde se realizaron análisis de varianza y modelos lineales generales y mixtos para determinar la presencia de diferencias significativas. Para las variables en las que se mostró diferencia se aplicaron pruebas de comparación múltiple LSD de Fisher al 95 % de confianza, entre los tratamientos

para todas las variables evaluadas. Asimismo, se realizaron los análisis de correlación y regresión pertinentes para explorar los resultados en función de las variables.

## 3. RESULTS

En el presente estudio de acuerdo con la fermentación mediante la adición microorganismo como lo muestra la Tabla 2, en los cuales presentó la dinamina del comportamiento referente a  $^\circ\text{Brix}$  hasta las 48 horas del proceso de fermentación, dio como resultado una media de 2,69  $^\circ\text{Brix}$  para el tratamiento con *Saccharomyces cerevisiae* S-33 y la adición de *Lactobacillus casei* con una media de 2,33  $^\circ\text{Brix}$ , para lo cual se presenta diferencia estadística significativa ( $p < 0,05$ ).

Tabla 2. Valores promedio de los diferentes tratamientos para la variable  $^\circ\text{Brix}$  tras 48 h de fermentación anaeróbica.

Table 2. Average values of the different treatments for the variable  $^\circ\text{Brix}$  after 48 h of anaerobic fermentation.

Tratamiento	Media	D.E
S-04	4,33	$\pm 0,55$ A
S-04 + L	4,21	$\pm 0,62$ A
S-33+ L	2,33	$\pm 0,29$ B
S-33	2,69	$\pm 0,63$ B
Testigo	4,53	$\pm 0,86$ A

Medias con letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Por otra parte, no se observó diferencia estadísticamente significativa, según la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), entre los diferentes tratamientos en el pH, de acuerdo con López et al. (2013). Las cepas lácticas empleadas para fermentar la pulpa de café redujeron el pH. Las cepas de *Lactobacillus casei* promueven una mayor acidificación del medio, reduciendo el pH de 4,94 a 4,02. La disminución de azúcares fue rápida, lo que se relaciona con el crecimiento de las cepas de *Saccharomyces cerevisiae* frente a la cepa de *Lactobacillus casei* (Tabla 3).

Tabla 3. Valores medios de pH en los diferentes tratamientos durante 48 h de fermentación anaeróbica.

Table 3. Average values of the different treatments during the fermentation process for the pH variable during 48 h of anaerobic fermentation.

Tratamiento	Media	D.E
S-04	4,16	$\pm 0,46$
S-04 + L	4,19	$\pm 0,48$
S-33	4,28	$\pm 0,32$
S-33 + L	4,16	$\pm 0,19$
Testigo	4,22	$\pm 0,5$

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (test de Tukey,  $p > 0,05$ ).

De acuerdo con la Tabla 4, en general, la cantidad de polifenoles totales en café verde se mantuvo estable, disminuyó ligeramente. No se observó diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) entre los distintos tratamientos en esta variable. Cabe destacar que el café verde con *Saccharomyces cerevisiae* S-04, con *Saccharomyces cerevisiae* S-33 y con la combinación de ambas levaduras con *Lactobacillus casei* mostraron medias superiores.

En la capacidad antioxidante, evaluada mediante el método DPPH, se observó una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre los diferentes tratamientos y el testigo. En el testigo el contenido de antioxidantes fue mucho menos pronunciado. Además, se observaron diferentes

comportamientos según el método de estimación de antioxidantes mediante DPPH, probablemente debido a la disminución de los microorganismos a medida que avanza el proceso de fermentación (Tabla 5).

Tabla 4. Resultados de polifenoles totales expresados en mg EAc. galico/mL extracto.

Table 4. Results for total polyphenols expressed in mg gallic acid/mL extract.

Tratamiento	Media	D.E
S-04	0,67	±0,031
S-04 + L	0,72	±0,065
S-33	0,66	±0,023
S-33 + L	0,68	±0,011
Testigo	0,61	±0,064

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (test de Tukey,  $p > 0.05$ ).

Tabla 5. Actividad antioxidante por método de DPPH ( $\mu\text{mol ET/ mL extracto}$ ).

Table 5. Antioxidant activity by DPPH method ( $\mu\text{mol TE/ mL extract}$ ).

Tratamiento	Media	D.E
S-04	2039,63	±72,42 A
S-04 + L	2034,63	±57,73 A
S-33+ L	2005,88	±85,54 A
S-33	1984,63	±134,29 A
Testigo	1707,13	±46,59 B

Medias con letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

En la cantidad de antioxidantes determinada mediante el método FRAP. Las diferencias pueden estar influenciadas por el origen de la pulpa de café utilizada y en el estudio no se observó una diferencia estadísticamente significativa según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) entre los diferentes tratamientos (Tabla 6).

El ensayo de poder antioxidante reductor de iones férricos (FRAP) mide la capacidad de una muestra para participar en reacciones redox de transferencia de electrones. De acuerdo con BRESSANI et al. (2021), no se observó una diferencia significativa entre los valores de FRAP antes ( $106,00 - 232,54 \mu\text{M FS.g}^{-1}$ ) y al final de la fermentación ( $125,05 - 263,66 \mu\text{M FS.g}^{-1}$ ).

Tabla 6. Actividad antioxidante ( $\mu\text{mol de ET por mL de extracto}$ ) mediante el método FRAP.

Table 6. Antioxidant activity in ( $\mu\text{mol of the TE per mL of extract}$ ) by the FRAP method.

Tratamiento	Media	D.E.
S-04	4939,74	± 77,72
S-04 + L	7933,33	± 5299,22
S-33+ L	6433,33	± 1203,43
S-33	6843,59	± 4263,43
Testigo	4545,83	± 518,37

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (test de Tukey,  $p > 0.05$ ).

La capacidad antioxidante del café verde, evaluada mediante el método ABTS, no mostró diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ). Cabe destacar que la adición de *Lactobacillus casei* junto con *Saccharomyces cerevisiae* S-04 se asocia con una mayor concentración de compuestos antioxidantes (Tabla 7). De acuerdo con la Tabla 8, se observa que la fermentación de cereza de café con el uso combinado de las cepas S-33 y S04 de *Saccharomyces cerevisiae* y

de *Lactobacillus casei* es capaz de producir compuestos volátiles aromáticos que contribuyen a mejorar el aroma del café tostado. Las actividades de modificación del sabor e interacción entre bacterias ácido-lácticas (BAL) y levaduras durante la fermentación pueden introducir nuevos moduladores sinérgicos del sabor (WANG et al., 2020b).

Tabla 7. Actividad antioxidante ( $\mu\text{mol de ET por mL de extracto}$ ) mediante el método de ABTS.

Table 7. Antioxidant activity in ( $\mu\text{mol TE per ml of extract}$ ) by the ABTS method.

Tratamiento	Media	D.E
S-04	6658,46	± 428,22
S-04 + L	8096,92	± 1464,13
S-33	7689,23	± 1669,21
S-33 + L	6927,69	± 936,82
Testigo	6089,23	± 800,18

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (test de Tukey,  $p > 0.05$ ).

Tabla 8. Puntaje de catación del café arábigo, variedad Typica Mejorada, cultivado a una altitud de 1 448 m s.n.m.

Table 8. Cupping score, Arabica coffee variety Typica Improved, grown at an altitude of 1,448 m above sea level.

Tratamiento	Puntaje catación
S-04	85,13 ± 0,58 AB
S-04 + L	85,75 ± 0,22 AB
S-33+ L	86,13 ± 0,43 A
S-33	85,75 ± 0,38 AB
Testigo	84,13 ± 0,30 B

Medias con letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

La Figura 1 muestra la varianza de los datos experimentales, dividida en las dos dimensiones. La primera dimensión (CP1) explicó el 83,0 % de la varianza total de los datos, al separar por tratamiento: *Saccharomyces cerevisiae* S-33, *Saccharomyces cerevisiae* S-04, *Saccharomyces cerevisiae* S-33 + *Lactobacillus casei*, *Saccharomyces cerevisiae* S-04 + *Lactobacillus casei* y el testigo. El tratamiento (S-33 y S-33 + L) se caracterizaron por tener mayor dulzor, cuerpo, acidez presentando una alta correlación lineal positiva entre ellas, presentando una asociación directa con estos atributos corroborando la tabla

La segunda dimensión (8,2%) permitió diferenciar que la cepa S04 de *S. cerevisiae*, sin *Lactobacillus casei*, no muestra tendencia y el testigo se encuentra en el lado opuesto al tratamiento con S-33, lo que indica la efectividad de esta cepa para mejorar los atributos mencionados.

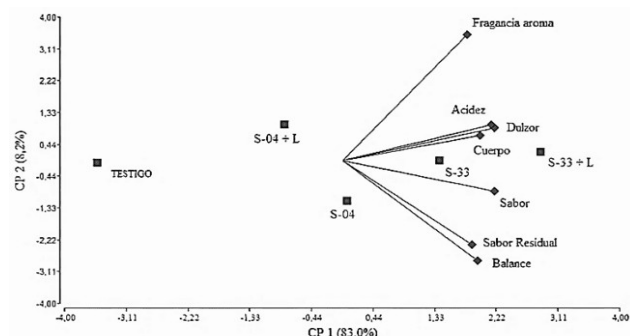


Figura 1. Análisis de componentes principales de los atributos de la catación de café y su relación con los tratamientos mediante un modelo de diseño completamente al azar.

Figure 1. Principal component analysis for coffee cupping attributes and their relationship with treatments using a completely randomized design model.

#### 4. DISCUSIÓN

Con base en los resultados obtenidos para °Brix, en el estudio de Elhalis et al. (2021) se detectaron tres azúcares principales en los granos de café: sacarosa, glucosa y fructosa. El ácido láctico y el glicerol fueron los principales metabolitos finales detectados durante las fermentaciones, con concentraciones aproximadamente dos veces mayores en los granos inoculados que en los controles ( $p > 0.05$ ). En las fermentaciones inoculadas, las disminuciones de azúcares fueron más rápidas y extensas, lo que se tradujo en un consumo total o en concentraciones más bajas que en el control.

Este resultado también pudo haber sido influido por el tipo de proceso de fermentación descrito en un reporte de Barba; Tinoco (2020), donde emplearon *Saccharomyces cerevisiae* S-04 durante 6 días. Aquí se mostró un valor de 4,98 °Brix en comparación con el proceso de fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* S-04 durante 4 días con un valor de 3,24 °Brix, valores similares a los reportados en el presente estudio.

Por otra parte, de acuerdo con Wang et al. (2020), los recuentos celulares de *S. cerevisiae* disminuyeron ligeramente. Se produjo una ligera acidificación y los valores de pH de la fase líquida en los medios de fermentación cayeron de 5,8 a 5,5 ( $p < 0,05$ ). Mientras que en un estudio realizado por Palacios y Huayama (2023) se observaron valores promedio de pH en el rango de  $4,906 \pm 0,5$ , lo que indica una disminución a medida que transcurre el tiempo. Pivaral; Cruz (2018), en su investigación, obtuvieron un pH de  $5,16 \pm 0,62$  en media, mediante una fermentación en un sistema cerrado inoculado con levaduras. Además, indica que la reducción del pH en un sistema cerrado es menor que en uno abierto; esto se debe en mayor medida al dióxido de carbono producido por las levaduras, que contribuye a la acidificación de este sistema, que al ácido láctico producido por bacterias ácido-lácticas.

Para el resultado de polifenoles, con base en el estudio realizado por Huaccha-Herrera (2016), en todas las muestras analizadas, el menor contenido de polifenoles totales correspondió a la variedad Typica grano verde oro (T1),  $2,994 \pm 0,039$  g EAG/100 g, en comparación con la variedad Bourbon. Por otra parte, Tamilmani; Pandey (2015) mostraron que el mayor contenido de polifenoles en media fue de 58 mg GAE/g de grano seco, lo cual varió de 33,75 a 60,71 mg EAG/g de muestra seca (extracto metanólico).

Según Urrunaga de Rozas et al. (2024), los resultados de los polifenoles totales para el café caracolillo (granos peaberry) fueron de  $21,79 \pm 0,75$  mg EAG/g, y para el café natural, de  $20,09 \pm 0,70$  mg EAG/g. Se puede decir entonces que hay al menos dos corrientes de investigación bien definidas: una, de los compuestos naturalmente presentes en el café verde (CGA); y la otra, de aquellos que se generan durante el tostado del grano, proceso que induce profundos cambios en la composición química y en las actividades biológicas del café (FUJIOKA; SHIBAMOTO, 2008). El aumento del contenido fenólico también puede deberse a la actividad de enzimas endógenas en la superficie de la pulpa de café, como la pectinasa. Esta enzima puede producirse de forma natural a partir de células vegetales o de microorganismos (SILVA et al., 2013).

En la reacción de hidrólisis, las BAL pueden convertir compuestos fenólicos complejos en compuestos fenólicos más simples. En particular, la feruloil esterasa convierte el ferulato de metilo en ácido ferúlico. La estructura del ácido ferúlico presenta más grupos hidroxilo, lo que puede aumentar la medición del contenido fenólico y la actividad antioxidante (FESSARD et al., 2017).

Ozgen et al. (2006) sugieren que el ensayo DPPH es más adecuado para muestras con antioxidantes lipofílicos o con un alto contenido lipídico. Los fenoles son hidrófilos, y esto puede ser la razón por la que se observaron diferencias en la capacidad antioxidante de las muestras de café. Por lo tanto, podría estar relacionada con la solubilidad de los fenoles. El aumento de la capacidad de DPPH tras el proceso de fermentación indica que la fermentación probablemente tiene un gran potencial para generar metabolitos con una actividad de eliminación de radicales superior.

De acuerdo con Oktaviani et al. (2020), la actividad antioxidante de la pulpa de café fermentada aumentó hasta un 10% después de la adición de una LAB homofermentativa inóculo (*Lactobacillus casei*). Por otra parte, durante 48 h, mejoró la capacidad antioxidante de los extractos debido a la liberación de altas concentraciones de compuestos fenólicos, como el ácido clorogénico y el resorcinol. La actividad antioxidante de la pulpa de café fermentada aumentó hasta un 10% después de la adición de un inóculo de LAB homofermentativa (*Lactobacillus casei*) durante 48 h; sugirieron que sería mejor utilizar bacterias de ácido láctico para permanecer lo más cerca posible de la fermentación natural.

Con base en los resultados de antioxidantes mediante ABTS, de acuerdo con Ianniello et al. (2015), las BAL heterofermentativas son capaces de modificar la estructura y conformación de los compuestos fenólicos para aumentar la actividad antioxidante o *Lactobacillus casei* tiene la capacidad de producir catalasa tanto en condiciones anaeróbicas como aeróbicas. Esto contribuye a la expresión de fenotipos altamente tolerantes al  $H_2O_2$ .

La actividad antioxidante de la pulpa de café fermentada aumentó hasta un 10% tras la adición de un inóculo de LAB homofermentativa (*Lactobacillus casei*) durante 48 h (Oktaviani et al., 2020). Además, el prolongado tiempo de fermentación (48 h) con *Lactobacillus casei* en la investigación anterior puede haber provocado la conversión de compuestos fenólicos en compuestos inactivos (FESSARD et al., 2017). Mientras que las variables de acidez, el dulzor y cuerpo presenta una alta correlación lineal positiva entre ellas, destaca el hecho que la cepa S-033 con y sin *Lactobacillus casei* tienen una asociación directa con estos atributos, mientras que la cepa S-04 con y sin *Lactobacillus casei* no muestra ninguna tendencia y el testigo se encuentra en el lado opuesto al tratamiento con S-33 lo que indica la efectividad de esta cepa para mejorar los atributos mencionados (Figura 1).

Elhalis et al. (2020) reportaron aumentos en los volátiles esenciales, como acetato de etilo, acetato de isoamilo, etanol y acetaldehído, así como mejoras en la calidad sensorial de los productos finales. Los autores reportaron el rol crucial de las levaduras en la fermentación húmeda de granos de café australiano y su contribución al sabor, al aroma y a las percepciones sensoriales generales del café de alta calidad.

Las levaduras influyen en los compuestos producidos durante la fermentación y después del tostado y se correlacionan con las características sensoriales percibidas durante la cata en taza (BRESSANI et al., 2021). Investigaciones previas también han demostrado que acortar el tiempo de fermentación y bajar la temperatura durante el proceso de fermentación del café resulta en un café de mayor calidad, debido a niveles más altos de ésteres y cetonas.

Bertrand et al. (2012) señalan que la mala calidad sensorial del café se debe a la ausencia de levaduras durante el proceso de producción a partir de granos fermentados. Mientras que las bacterias homofermentativas generan una pequeña cantidad de alcohol, anhídrido carbónico y acetoina según la

cantidad de oxígeno, por otra parte, esta bacteria produce el 90% del ácido láctico a partir de la glucosa.

Ribeiro et al. (2017) mostraron que las levaduras de los tipos *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida parapsilosis* y *Pichia guilliermondii* generaron bebidas de calidad, con sabores y olores característicos, entre los cuales se encontraron acaramelados y a frutas. Por otra parte, Wang et al. (2019) demostraron que *Rhizopus oligosporus* y las levaduras *Yarrowia lipolytica* y *Saccharomyces cerevisiae* pueden modificar con éxito los atributos del aroma del café tostado mediante la modulación de los precursores del aroma y la generación de metabolitos volátiles en los granos de café verdes.

De acuerdo con Wang et al. (2020), la mayoría de los volátiles presentes en los cafés tostados se generan mediante la pirólisis de los componentes volátiles del café. La reacción de Maillard y la caramelización son las principales reacciones pirolíticas del azúcar, que generan una amplia gama de compuestos volátiles y contribuyen al aroma característico del café. La ruta de la reacción de Maillard con 1-desoxiosona conduce a la formación de compuestos dicarbonílicos, que luego se condensan con aminoácidos para formar pirazinas.

Los niveles más altos de 2,3-butanodiona promovieron la producción de pirazinas durante el tostado del control y de los granos de café verde de cocultivo de levaduras de *S. cerevisiae* y *P. kluyveri* y a su vez impulsó el aroma a nuez y tostado asociado con los volátiles N-heterocíclicos lo que también ocurrió en el café fermentado con *S. cerevisiae*.

## 5. CONCLUSIONES

El ensayo para la determinación de antioxidantes mediante DPPH arrojó resultados comparables a los obtenidos para la actividad antioxidante en extractos de café verde. Por lo tanto, sería importante utilizar esta técnica adecuada para determinar la actividad antioxidante del extracto de café, debido a la presencia de fenoles hidrófilos.

El tratamiento con *Saccharomyces cerevisiae* (S-33 y S-33 + *Lactobacillus casei*) se caracterizaron por presentar mayor dulzor, cuerpo y acidez, y mostraron una alta correlación lineal positiva entre sí, lo que demuestra una asociación directa con estos atributos organolépticos de gran interés. El tratamiento con S-33 evidencia la efectividad de esta cepa para mejorar los atributos mencionados.

## 6. REFERENCES

- AOAC\_ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. Washington, DC: AOAC, 1984. Available at: <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>
- BARBA, C.; TINOCO, F. **Influencia de la aplicación de dos tipos de levaduras y el tiempo de fermentación, en la calidad organoléptica de taza de Coffea arabica var. típica de la finca Agroloja**. 70f. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, 2023. <https://dspace.unl.edu.ec/jsui/handle/123456789/27154>
- BERTRAND, B.; BOULANGER, R.; DUSSERT, S.; RIBEYRE, F.; BERTHIOT, L.; DESCROIX, F.; JOËT, T. Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green Arabica coffee bean as well as coffee beverage quality. **Food Chemistry**, v. 135, n. 4, p. 2575-2583, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.060>
- BRESSANI, A. P. P.; BATISTA, N. N.; FERREIRA, G.; MARTINEZ, S. J.; SIMÃO, J. B. P.; DIAS, D. R.; SCHWAN, R. F. Characterization of bioactive, chemical, and sensory compounds from fermented coffees with different yeast species. **Food Research International**, v. 150, e110755, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110755>
- CEVALLOS, K.; SERRANO, J. Aprovechamiento de los compuestos activos a partir de extractos de residuos agroindustriales como sustituto de los conservantes sintéticos convencionales de alimentos. 111f. Dissertación [Químico de Alimentos] - Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2023. Available on: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/31647>.
- ELHALISA, H.; COXA, J.; FRANKB, D.; ZHAOA, J. The crucial role of yeasts in the wet fermentation of coffee beans and quality, Australia. **International Journal of Food Microbiology**, v. 333, e108796, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108796>
- ELHALISA, H.; COXA, J.; FRANKB, D.; ZHAOA, J. Microbiological and chemical characteristics of wet coffee fermentation inoculated with *Hansiniaspora uvarum* and *Pichia kudriavzevii* and their impact on coffee sensory quality, Australia. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, e108796, 2021. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.713969>
- FESSARD, A.; KAPOOR, A.; PATCHE, J.; ASSEMAT, S.; HOARAU, M.; BOURDON, E.; BAHORUN, T.; REMIZE, F. Lactic fermentation as an efficient tool to enhance the antioxidant activity of tropical fruit juices and teas, France. **Microorganisms**, v. 5, n. 20, e23, 2017. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5020023>
- FUJIOKA, K.; SHIBAMOTO, T. Chlorogenic acid and caffeine contents in various commercial brewed coffee, California. **Food Chemistry**, v. 106, n. 1, p. 217-221, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.091>
- GUZMÁN, S.; MOTATO, K. Potencial tecnológico de cepas nativas de levaduras aisladas en procesos de fermentación natural de café para la producción de cafés especiales. **Revista Colombiana de Biotecnología**, v. 18 n. 1, p. 20-31, 2021. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v26n1.113115>
- HUACCHA-HERRERA, C. **Efecto del grado de tostado en el contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y calidad en taza del café, variedad típica y Bourbon**. 116f. Tesis de Grado [Ingeniero en Industrias Alimentarias] - Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú, 2016. Available on: <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1258>
- IANNIELLO, R.; RICCIARDI, A.; PARENTE, E.; TRAMUTOLA, A.; REALE, A.; ZOTTA, T. Aeration and supplementation with heme and menaquinone affect survival to stresses and antioxidant capability of *Lactobacillus casei* strains. **LWT - Food Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 817-824, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.020>
- LALLEMAND. **Levadura natural seleccionada LALCAFÉ™**. 2024. Available on: <https://www.lalcafebylallemand.com/es/productos/lalcafe-inicio/>. Accessed at: 05 Dec. 2025.
- LÓPEZ, P.; IRACHETA, L.; CASTELLANOS, J.; MÉNDEZ, I.; AGUIRRE, J.; GUTIÉRREZ, A.; OJEDA, M.; PÉREZ, B. Variación en la tolerancia a desinfectantes de genotipos élite de *Coffea spp.* cultivados in vitro. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 2, n. 5, p. 645-657, oct. 2011. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342011000500002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000500002)
- LÓPEZ, T.; PRADO, A.; NEVÁREZ, G.; CONTRERAS, J.; RODRÍGUEZ, R.; AGUILAR, C. Incremento de la capacidad antioxidante de extractos de pulpa de café por

- fermentación láctica en medio sólido. **CYTA - Journal of Food**, v. 11, n. 4, p. 359-365, 2013. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2013.773563>
- OKTAVIANI, L.; ASTUTI, I.; ROSMIATI, M.; ABDUH, M. Y. Fermentation of coffee pulp using indigenous lactic acid bacteria with simultaneous aeration to produce cascara with a high antioxidant activity. **Heliyon**, v. 6, n. 7, e04462, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04462>
- OZGEN, M.; REESE, R.; TULIO, A.; SCHEERENS, J.; MILLER, A. Modified 2,2-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic Acid (ABTS) Method to measure antioxidant capacity of selected small fruits and comparison to ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2,2'-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 4, p. 1151-1157, 2006. <https://doi.org/10.1021/jf051960d>
- PALACIOS, F.; HUAYAMA, P. Análisis sensorial del café catimor (*Coffea arabica*) inoculado con cepas de *Saccharomyces cerevisiae* en dos sistemas de fermentación. **Revista Pakamuros**, v. 11 n. 1, p. 123-130, 2023. <https://doi.org/10.37787/wm10gf28>
- PAZMIÑO, J.; RUIZ, A. Evaluación sensorial y de compuestos volátiles aromáticos del café (*Coffea arabica* var. Caturra Chirosó) de tres orígenes geográficos de Antioquia. **Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, v. 24, n. 1, e2846, 2023. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol24\\_num1\\_art:2846](https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2846)
- PIVARAL, R.; CRUZ, J. Evaluación del efecto de *Saccharomyces cerevisiae* sobre la caracterización sensorial del café en dos sistemas de fermentación. 34f. Projeto especial de Graduação [Licenciatura em Agroindústria Alimentária] - Escola Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 2018. Available on: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6232/1/AGI-2018-T019.pdf>
- RIBEIRO, L. S.; MIGUEL, M. G. C. P.; EVANGELISTA, S. R.; MARTINS, P. M. M.; VAN MULLEM, J.; BELIZARIO, M. H.; SCHWAN, R. F. Behavior of yeast inoculated during semi-dry coffee fermentation and the effect on chemical and sensorial properties of the final beverage. **Food Research International**, v. 92, p. 26-32, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.011>
- SILVA, C. F.; VILELA, D. M.; DE SOUZA CORDEIRO, C.; DUARTE, W. F.; DIAS, D. R.; SCHWAN, R. F. Evaluation of a potential starter culture for enhance quality of coffee fermentation. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 29, n. 2, p. 235-247, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11274-012-1175-2>
- SCA\_Specialty Coffee Association. **Sample Preparation and Tasting Mechanics**. 102 – 2024. Available on: <https://sca.coffee/research/coffee-standards>
- TAMILMANI, P.; PANDEY, M. C. Optimization and Evaluation of phenolic compounds and their antioxidant activity from coffee beans. **International Journal of Advanced Research**, v. 3, n. 4, p. 296-306, 2015.
- TAPIERO, J.; MÉNDEZ, R. Modelo matemático del proceso de fermentación del café. 75f. Trabajo de Investigación [Licenciatura en Matemáticas] - Universidad del Quindío, Colombia, 2023. Available on: <https://bdigital.uniquindio.edu.co/server/api/core/bitstreams/c7108e7e-dbc3-409d-9566-bce51ad22b33/content>
- THAIPONG, K.; BOONPRAKOB, U.; CROSBY, K.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; HAWKINS BYRNE, D. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, n. 6-7, p. 669-675, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>
- URRUNAGA DE ROZAS, E. J.; TORRES POLANCO, J. G.; ALOSILLA ROBLES, C. S. A.; PUMA CAPARO, B. P. P. Evaluación de las características fisicoquímicas, cromatográficas y actividad antioxidante del café verde caracolillo y natural (*Coffea arabica* L.) de Umapata-Cusco. **Q'EUÑA**, v. 15, n. 2, p. 16-25, 2024. <https://doi.org/10.51343/rq.v15i2.1570>
- WANG, C.; SUN, J.; LASSABLIERE, B.; YU, B.; LIU, S. Q. Coffee flavour modification through controlled fermentations of green coffee beans by *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia kluyveri*: Part I. Effects from individual yeasts. **Food Research International**, v. 136, e109588, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109588>
- WANG, C.; SUN, J.; LASSABLIERE, B.; YU, B.; LIU, Q. Coffee flavour modification through controlled fermentation of green coffee beans by *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia kluyveri*: Part II. Mixed cultures with or without lactic acid bacteria. **Food Research International**, v. 136, e109452, 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109452>
- WANG, C.; SUN, J.; LASSABLIERE, B.; YU, B.; ZHAO, F.; ZHAO, F.; CHEN, Y.; LIU, S. Q. Potential of lactic acid bacteria to modulate coffee volatiles and effect of glucose supplementation: fermentation of green coffee beans and impact of coffee roasting. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99 n.1, p. 409-420, 2018. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9202>

**Agradecimientos:** A la Universidad Técnica de Cotopaxi, a la Universidad Técnica Particular de Loja y al trabajo conjunto en el proyecto de investigación “Manejo de cosecha y poscosecha de productos agrícolas y estudio de los procesos de transformación de residuos agropecuarios”.

**Contribuciones de los autores:**

J.L.C.Z.: methodology, investigation or data collection, writing (original), writing (review & editing); J.M.F.A.: methodology, investigation or data collection, writing (original); M.M.M.P. – conceptualization, methodology, investigation or data collection, administration or supervision, writing (original), writing (review & editing). All authors have read and approved the published version of the manuscript.

**Disponibilidad de los datos:** Los datos del estudio pueden obtenerse por correo electrónico del autor correspondiente. No están disponibles en el sitio web porque el proyecto de investigación aún está en desarrollo.

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Derechos de autor: © 2025 de los autores. Este artículo es de acceso abierto y se distribuye bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial (CC BY-NC) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).