



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

PROYECTO DE TITULACIÓN

**EFFECTO DEL GRADO DE TUESTE SOBRE EL CONTENIDO DE
COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE (*Coffea
canephora*) PRODUCIDAS EN EL CANTÓN LA MANÁ.**

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero/a Agroindustrial

AUTORES

Vargas Moreira Nathaly Jessenia

Villalva Vera Elian Josué

TUTOR :

Gavilánez Buñay Tatiana Carolina

LA MANÁ- COTOPAXI- ECUADOR

MARZO - 2026

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA

Nathaly Jessenia Vargas Moreira, con cédula de ciudadanía No. 0940804644, Villalva Vera Elian Josué, con cédula de ciudadanía No. 1206888875 declaramos ser los autores del presente **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “EFECTO DEL GRADO DE TUESTE SOBRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE *Coffea canephora* PRODUCIDAS EN EL CANTÓN LA MANÁ”** siendo la Ing. Gavilánez Buñay Tatiana Carolina MSc, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

La Mana, 12 marzo de 2026



Nathaly Jessenia Vargas Moreira

C.C. 0940804644



Elian Josué Villalva Vera

C.C. 1206888875

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **VARGAS MOREIRA NATHALY JESENIA**, identificado con cédula de ciudadanía No. **0940804644** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. -LA CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“EFECTO DEL GRADO DE TUESTE SOBRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE *Coffea canephora* PRODUCIDAS EN EL CANTÓN LA MANÁ”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2022 – Agosto 2022

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 12 de marzo del 2026

Tutor: Ing. Tatiana Carolina Gavilánez Buñay, M.Sc.

Tema **“EFECTO DEL GRADO DE TUESTE SOBRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE *Coffea canephora* PRODUCIDAS EN EL CANTÓN LA MANÁ”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.

- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 11 días del mes de marzo del 2026.



Nathaly Jessenia Vargas Moreira
LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **VILLALVA VERA ELIAN JOSUE**, identificado con cédula de ciudadanía No. **1206888875** de estado civil soltera , a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. -EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“EFECTO DEL GRADO DE TUESTE SOBRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE *Coffea canephora* PRODUCIDAS EN EL CANTÓN LA MANÁ”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2022 – Agosto 2022

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 12 de marzo del 2026

Tutor: Ing. Tatiana Carolina Gavilánez Buñay, M.Sc.

Tema **“EFECTO DEL GRADO DE TUESTE SOBRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE *Coffea canephora* PRODUCIDAS EN EL CANTÓN LA MANÁ”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - EL CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **EL CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **EL CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.

- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **EL CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **EL CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, 11 días del mes de marzo del 2026.



Elian Josue Villalva Vera
EL CEDENTE

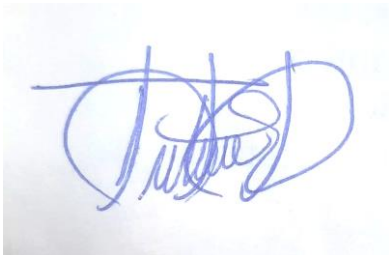
Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“EFECTO DEL GRADO DE TUESTE SOBRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE *Coffea canephora* PRODUCIDAS EN EL CANTÓN LA MANÁ” de los estudiantes Nathaly Jessenia Vargas Moreira; Elian Josue Villalva Vera de la carrera de Agroindustria, considero que dicho informe investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

La Maná, 11 marzo del 2026

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Tutor', written over a light blue grid background.

Gavilánez Buñay Tatiana Carolina
C.I: 1600398190
TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de tribunal de Lectores, aprueban el presente informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Extensión La Maná, Carrera de Agroindustria, por lo cuanto los postulantes: Vargas Moreira Nathaly Jessenia, Villava Vera Elian Josue, con el título del proyecto de Investigación **“EFECTO DEL GRADO DE TUESTE SOBRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE *Coffea canephora* PRODUCIDAS EN EL CANTÓN LA MANÁ”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficiente para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

La Maná, 12 de marzo del 2026

Para la constancia firman:



Carrera Borja Washington Xavier

Cl.0502443625

LECTOR1 (PRESIDENTE)



Guzmán Acán Fabricio Armando

Cl.0603684788

LECTOR 2 (MIEMBRO)



Negrete Ontaneda Tanya

Cl. 1719264945

LECTOR 3 (SECRETARIO)

AGRADECIMIENTO

Nuestro primer pensamiento de gratitud se dirige a Dios, fuente inagotable de fortaleza y sabiduría, que nos permitió superar cada desafío y culminar exitosamente este proyecto. Extendemos nuestro profundo amor y reconocimiento a nuestros padres y familiares, pilares esenciales cuyo apoyo incondicional y valiosos consejos fueron la motivación constante para alcanzar esta meta.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por ser la institución que forjó nuestra formación, y a los docentes de la carrera de Agroindustria, por su dedicación y transferencia de conocimientos. De igual modo, reconocemos al Proyecto FIASA por su invaluable colaboración estratégica y la facilitación de recursos cruciales para la ejecución de esta investigación.

Finalmente, dedicamos nuestra más profunda gratitud a quienes guiaron magistralmente este proceso: a nuestra tutora de tesis, la Ing. Tatiana Gavilánez, por su dirección experta, paciencia y orientaciones académicas precisas. Y a la Ing. Pamela Venegas, por su valioso soporte técnico y la generosidad al compartir su experiencia, elementos que enriquecieron la consolidación metodológica del proyecto. Su apoyo conjunto nos demostró que la excelencia investigativa florece gracias a una mentoría comprometida.

**Nathaly
Elian**

DEDICATORIA

Este trabajo investigativo está dedicado a:

A mi Dios Todopoderoso, fuente de sabiduría, amor y fortaleza. Por haberme guiado en cada paso, por la vida y la salud, y por darme la perseverancia inquebrantable para alcanzar esta meta universitaria. A ti sea toda la gloria, Señor.

A mi amada madre, Patricia Vera, mi pilar fundamental y mi mayor fuerza. Por su amor incondicional, su sacrificio infinito y por ser el ejemplo más grande de dedicación que me enseñó que, con fe, todo es posible. Gracias por sus oraciones y por siempre creer en mí y a mi querido padre, Agustín Villalva, por ser mi guía, mi consejero y el reflejo de la perseverancia. Su apoyo constante y sus valiosos principios de trabajo y honestidad fueron la inspiración que me impulsó a superar los desafíos y a culminar este sueño.

Con mi eterno agradecimiento y profundo amor.

Elian Villalva

DEDICATORIA

Este trabajo investigativo está dedicado a:

A mi Dios Todopoderoso, fuente de toda sabiduría, luz y amor. Por haberme concedido la salud, la perseverancia y la guía constante para recorrer este camino académico y alcanzar esta meta. A ti sea toda la gloria, Señor. Dedico esta tesis a mi amada madre, Margarita Moreira, mi pilar inquebrantable y mi mayor inspiración. Su amor incondicional, su sacrificio y su fe en mi potencial fueron el motor que me impulsó a la culminación exitosa de este proyecto.

A mi abuelita, María Teodosa, por ser un faro de ternura, por sus valiosos consejos y por el refugio de paz que siempre me brindó; su presencia ha sido una bendición constante. A mi hermana, Laura Cárdenas, por su complicidad, su motivación y por ser mi apoyo más cercano en cada etapa. Y, en el ámbito profesional, a la Ingeniera Tatiana Gavilánez, por el invaluable apoyo moral y la guía técnica que proporcionó, cuya contribución fue esencial para dar forma y finalizar esta investigación.

Con mi más sincero afecto y gratitud eterna.

Nathaly Vargas

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

TITULO: “EFECTO DEL GRADO DE TUESTE SOBRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE *Coffea canephora* PRODUCIDAS EN EL CANTÓN LA MANÁ”.

Autores:

Vargas Moreira Nathaly Jessenia

Villalva Vera Elian Josue

RESUMEN

El trabajo experimental denominado efecto del grado de tueste sobre el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de *Coffea canephora* fue realizado en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi. Consta de dos etapas, la primera en campo en todo lo referente a cosecha y poscosecha de las variedades recolectadas en la parroquia Guasaganda, en el Centro Experimental Sacha Wiwa, y la segunda etapa a nivel de experimentación en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. El diseño aplicado fue un DCA (Diseño completamente al azar), con un arreglo factorial A×B, en el cual el factor A son las 4 variedades de *Coffea canephora* (Conilón, Napopayamino, Ecurubusta y Mix Robusta) y el factor B los 3 grados de tueste (Claro, Medio y Oscuro), manteniendo la temperatura de tostado constante (180°C) y testigos (verdes y comerciales), con un total de 12 tratamientos, 7 testigos y 3 repeticiones, dando un total de 57 unidades experimentales. Se realizaron evaluaciones de cuantificación de polifenoles totales, contenido de flavonoides y determinación de la capacidad antioxidante mediante el método (DPPH) de todos los tratamientos. Finalmente se determinó que el grado de tueste y la variedad influyeron de forma significativa en el perfil de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante del grano. Los mejores resultados se apreciaron en los tratamientos de tueste claro y en los granos verdes en lo que a composición fenólica y capacidad antioxidante se refiere. Se destacaron el testigo verde Conilón (T04) con el mayor contenido de polifenoles (18.106 mg GAE/g) y la variedad Mix Robusta en tueste claro (T10) con la mayor actividad antioxidante (43.886 μmol Trolox E/g), evidenciando que los tuestes oscuros provocan una degradación considerable de los compuestos bioactivos, mientras que los perfiles claros y medios conservan mejor las propiedades funcionales. Desde la perspectiva financiera el proyecto demandó una inversión de \$866.97 logrando una relación de costo/beneficio de \$2.83, esto indica que por cada dólar invertido se obtiene un retorno de 2.83 dólares, y \$1.83 de ganancia, demostrando que el procesamiento de café con alto valor fitoquímico es una alternativa rentable.

Palabras clave: *Coffea canephora*, tueste, polifenoles, flavonoides, capacidad antioxidante.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

EXTENSION LA MANÁ

THEME: “EFFECT OF ROASTING DEGREE ON PHENOLIC COMPOUND CONTENT AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF COFFEA CANEPHORA PRODUCED IN LA MANÁ CANTON”.

Autores:

Vargas Moreira Nathaly Jessenia
Villalva Vera Elian Josue

ABSTRACT

The experimental work titled "Effect of roasting degree on the content of phenolic compounds and antioxidant capacity of *Coffea canephora*" was carried out in La Maná Canton, Cotopaxi Province. It consisted of two stages: the first one involved field work related to the harvest and post-harvest of collected varieties in Guasaganda Parish at Sacha Wiwa Experimental Center and the other stage involved experimentation in the laboratories of the Technical University of Cotopaxi, La Maná Extension. A Completely Randomized Design (CRD) was applied with an A×B factorial arrangement. Factor A consisted of 4 *Coffea canephora* varieties (Conilón, Napopayamino, Ecurobusta, and Mix Robusta), Factor B consisted of 3 roasting degrees (Light, Medium, and Dark) by keeping a constant roasting temperature (180°C), and Controls (green and commercial beans) were included with a total of 12 treatments, 7 controls, and 3 replications, so resulting in 57 experimental units. Evaluations were conducted to quantify total polyphenols and flavonoid content, and to determine antioxidant capacity by using the DPPH method for all treatments. Finally, it was determined that the roasting degree and variety influenced significantly the profile of phenolic compounds and the antioxidant capacity of the grain. The best results were observed in light roast treatments and green beans regarding phenolic composition and antioxidant capacity. The Conilón green control (T04) stood out with the highest polyphenol content (18.106 mg GAE/g), and the Mix Robusta variety in light roast (T10) had the highest antioxidant activity (43.886 μmol Trolox E/g). On the other hand, this evidenced that dark roasts cause considerable degradation of bioactive compounds, while light and medium profiles preserved functional properties. From a financial perspective, the project required an investment of \$866.97, achieving a benefit-cost ratio of 2.83, indicating that for every dollar invested, a return of 2.83 was obtained (\$1.83 profit), and demonstrating that processing coffee with high phytochemical value was a profitable alternative.

Keywords: *Coffea canephora*, roasting, polyphenols, flavonoids, antioxidant capacity.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUDITORIA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	v
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	viii
AGRADECIMIENTO	ix
DEDICATORIA	x
DEDICATORIA	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
4. BENEFICIARIOS	4
4.1 Beneficiarios Directos.....	4
4.2 Beneficiarios Indirectos	4
5. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	4
6. OBJETIVOS.....	5
6.1 Objetivo General.....	5
6.2 Objetivos Específicos	5
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA	6
8.1 El Café como cultivo	6
8.2 Origen y Distribución	7
8.3 Características botánicas y taxonomía de la planta.....	7
8.4 Diversidad genética y grupos dentro del género Coffea.....	9
8.6 Requerimientos ecológicos y manejo bajo sombra.....	9
8.7 Producción de café Global	10
8.8 Producción de café en el Ecuador	11
8.9 Producción de café en La Maná.....	12
8.10 Estructura productiva y tipos de productores.....	12
8.11 Especies, regiones y sistemas de cultivo.....	13

8.12	Mercado, crisis y desafíos.....	14
8.13	Varietales de café producidas en el Cantón La Maná.....	14
8.15	Propiedades del café	15
8.16	Tipos de tueste	18
9.	VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS	19
10.	METODOLOGÍA.....	19
10.1	Ubicación y duración del ensayo	19
10.2	Tipos de investigación	19
10.3	Técnicas	20
10.4	Condiciones agrometeorológicas	20
10.5	Materiales y quipos	20
10.5.1	Material vegetal	20
10.5.2	Otros equipos, reactivos y materiales	21
10.6	Factores bajo estudio	21
10.7	Diseño del Experimento y Análisis Estadístico.....	22
10.8	Esquema del Experimento	22
10.9	Esquema de análisis de varianza.....	23
10.10	Manejo experimental.....	24
10.10.1	Cosecha y postcosecha.....	24
10.10.2	Diagrama de proceso	24
10.10.3	Preparación del extracto acuoso	25
10.10.3.1	Extracto de café verde (sin tostar)	25
10.10.3.2	Extracto del café tostado	25
10.10.4	Cuantificación de metabolitos.....	26
11.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	29
12.	IMPACTO (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS)	58
12.1	Impactos técnicos.....	58
13.	PRESUPUESTO.....	59
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
14.1	CONCLUSIONES	59
15.	BIBLIOGRAFÍA	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividad y sistema de tareas	6
Tabla 2. Clasificación taxonómica	8
Tabla 3. Condiciones meteorológicas de la Parroquia de Guasaganda	20
Tabla 4. Tipos de varietales utilizados en el estudio	20
Tabla 5. Materiales y equipos.....	21
Tabla 6. Resumen de los factores de estudio.....	22
Tabla 7. Esquema de experimento.....	23
Tabla 8: Esquema de análisis de varianza	23
Tabla 9. Tiempo del grado de tueste de varietales de café robusta	25
Tabla 10: Contenido de polifenoles y Absorbancia	29
Tabla 11: ANOVA de Tratamientos Multifactorial en relación a la absorbancia.....	31
Tabla 12. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de la absorbancia de polifenoles por varietales.....	32
Tabla 13. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de la absorbancia polifenoles por tueste	32
Tabla 14: ANOVA Tratamientos multifactorial en relación a polifenoles	34
Tabla 15. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de los polifenoles por varietales	35
Tabla 16. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de los polifenoles por tueste	35
Tabla 17: Contenido de Flavonoides y Absorbancia.....	38
Tabla 18: ANOVA de Tratamientos Multifactorial de la Absorbancia	39
Tabla 19. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de la absorbancia de flavonoides por varietales.....	40
Tabla 20. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de la absorbancia de flavonoides por tueste.....	40
Tabla 21: ANOVA Tratamientos multifactorial del contenido de flavonoides	42
Tabla 22. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de los flavonoides por varietales	43
Tabla 23. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de los flavonoides por tueste	43
Tabla 24: Contenido de Antioxidantes y Absorbancia.....	46
Tabla 25: ANOVA de Tratamientos Multifactorial de las Absorbancias	48
Tabla 26. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de la absorbancia de antioxidante por varietales.....	49
Tabla 27. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de los Antioxidante por tueste	49
Tabla 28: ANOVA de tratamientos multifactorial de cuantificación de Antioxidantes	51
Tabla 29. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de los antioxidantes por varietales.....	52
Tabla 30. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de los antioxidantes por tueste.....	52

Tabla 31. Gastos generados en la investigación (desglose por rubros).	56
Tabla 32. Ingresos generales y Rentabilidad	57
Tabla 33: Presupuestos para la Investigación.....	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución del café	7
Figura 2: Países exportadores de café.....	10
Figura 3: Proceso de la elaboración del café	24
Figura 4. Comparación de las medias de absorbancia para la determinación de polifenoles según el grado de tueste	33
Figura 5. Comparación de las medias de polifenoles según el grado de tueste.....	36
Figura 6: Interacción de polifenoles totales entre varietales y tueste	37
Figura 7. Comparación de medias de absorbancia para flavonoides según el grado de tueste	41
Figura 8. Comparación de medias de flavonoides según el grado de tueste	44
Figura 9: Interacción de flavonoides entre varietales y tueste.....	45
Figura 10. Comparación de medias de absorbancia para antioxidantes según el grado de tueste	50
Figura 11: Comparación de medias para antioxidantes según el grado de tueste	53
Figura 12. Interacción de los antioxidantes entre varietales y tueste.....	54

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. De la recta	27
Ecuación 2: Relación costo/beneficio	28

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:	Efecto del grado de tueste sobre el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de <i>Coffea canephora</i> producidas en el Cantón la Maná.
Fecha de inicio:	Octubre 2025
Fecha de finalización:	Febrero 2026
Lugar de ejecución:	Parroquia Guasaganda y Cabecera Cantonal La Maná
Carrera que auspicia:	Agroindustria
Proyecto de Investigación:	“Sistemas agro productivos de fabáceas en asociación con cacao y café en un contexto de economía circular para el desarrollo sostenible”
Equipo de Trabajo:	Ing. Tatiana C. Gaviláñez B. MSc (Tutora del proyecto) Nathaly Vargas Moreira (Estudiante) Elian Villalva Vera (Estudiante)
Área de Conocimiento:	Ingeniería, Industria y Construcción
Línea de Investigación:	Procesos tecnológicos, bioquímica, biomateriales, desarrollo y seguridad alimentaria.
Sublínea de Investigación	Análisis cuantitativos, cualitativos y sensoriales de alimentos y no alimentos de productos agroindustriales.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El café (*Coffea canephora*) es cultivado en gran parte de América Latina y tiene un papel estratégico en la economía rural de la región, donde constituye una de las principales fuentes de ingresos y empleo para familias campesinas dedicadas a esta actividad agrícola. En Ecuador, el cultivo de café se desarrolla en 23 de las 24 provincias del país, principalmente en pequeñas unidades de producción y sistemas agroforestales, lo que le otorga además importancia ambiental y social. Sin embargo, Ecuador no ocupa los primeros lugares mundiales en volumen como Brasil o Colombia, es reconocido por la calidad de sus cafés arábigos y robustas, asociados a condiciones agroecológicas favorables que permiten producir cafés de especialidad y aportar divisas al país. La caficultura ecuatoriana genera empleo directo para alrededor de 105.000 familias productoras y empleo indirecto para cientos de miles más a lo largo de la cadena de valor, desde la producción hasta la industrialización y exportación, por lo que se considera una actividad de gran importancia en las labores agrícolas y en la dinamización de las economías locales (Vargas *et al.*, 2021).

El objetivo del proyecto fue evaluar el efecto del tueste claro, medio y oscuro sobre el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de tres varietales y una mezcla de robusta de café robusta, específicamente Napopayamino, Conilon y Ecurobusta, además del Mix Robusta.

Los objetivos específicos incluyen la cuantificación de polifenoles totales mediante el método Folin-Ciocalteu, la determinación del contenido de flavonoides totales mediante el método de colorimétrica de nitrato de aluminio y acetato de sodio, y la evaluación de la capacidad antioxidante utilizando el método DPPH, Adicional, se realizará un análisis costo-beneficio comparando los tratamientos en estudio con muestras comerciales.

La investigación se justifica en la necesidad de comprender cómo el grado de tueste afecta los compuestos bioactivos en las varietales locales para determinar el potencial funcional y la capacidad antioxidante del café producido en el cantón La Maná. Se resalta que las varietales estudiadas son ricas en compuestos como cafeína, ácidos clorogénicos y trigonelina. (Zhang *et al.*, 2019).

La metodología implicó la recolección manual del material vegetal en el Centro Experimental Sacha Wiwa, parroquia Guasaganda, cantón La Maná. El proceso incluye despulpado, fermentación (entre 12 y 48 horas para descomponer el mucilago), para mejorar su calidad y potenciar su sabor luego pasa por un trillado hasta alcanzar un 10-12% de humedad. El tueste

se llevó a cabo en la Tostadora a una temperatura constante de 180°C, basado en diferentes tiempos según las variedades de café producida en el centro experimental sacha Wiwa (Zhang *et al.*, 2019).

Los análisis fueron realizados en el laboratorio de análisis básico de la Universidad Técnica de Cotopaxi los cuales fueron contenido de polifenoles, flavonoides y capacidad antioxidante. El diseño experimental consta de 19 tratamientos propios (cuatro variedades en tres grados de tueste) y 7 testigos, que incluyen cafés comerciales de diferentes tuestes y cafés verdes sin tostar de las variedades Napopayamino, Ecurobusta, Conilón y una mezcla de Robusta.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El estudio del efecto del grado de tueste sobre el contenido de polifenoles, flavonoides y la capacidad antioxidante en el café es relevante debido a la importancia de estos compuestos en la salud humana y en la calidad del producto final. Los polifenoles, especialmente los ácidos clorogénicos, son reconocidos por sus propiedades antioxidantes, las cuales pueden verse significativamente alteradas durante el proceso de tueste. Diversas investigaciones han demostrado que el tueste afecta tanto la cantidad de polifenoles como la capacidad antioxidante del café, observándose generalmente una disminución de estos compuestos a medida que incrementa el grado de tueste, debido a la formación de compuestos de la reacción de Maillard con el fin de compensar parcialmente la pérdida de compuestos antioxidante (Bobková *et al.*, 2020).

Sin embargo, la magnitud de estos cambios depende de factores como la variedad del café, las condiciones específicas de tueste y el origen geográfico de los granos. En el caso del cantón La Maná, se producen variedades locales con características propias, no existen estudios específicos que determinen cómo el tueste afecta la disminución de la actividad de compuestos bioactivos. Por lo tanto, investigar este tema permitirá optimizar los procesos de tueste para maximizar los beneficios para la salud y la calidad sensorial del café local, aportando información valiosa tanto para productores como para consumidores y contribuyendo al desarrollo sostenible y competitivo de la caficultura en la región (Alnsour *et al.*, 2022).

El tueste del café es una operación clave, en la cual el calor induce transformaciones fisicoquímicas responsables del color, aroma, sabor y textura de los granos de café, por lo tanto, de las propiedades organolépticas de la bebida. Un tueste controlado (tiempo y temperatura controlado) permite obtener perfiles sensoriales equilibrados, como se observa en café de tueste medios que alcanzan calificaciones excelsas en varios atributos sensoriales (aroma, sabor,

cuerpo) asociados con adecuadas propiedades nutraceuticas. Por el contrario, el tueste artesanal sin control de temperatura ni tiempo puede generar amargor excesivo, sabores quemados o astringentes, pérdida de aromas agradables y desequilibrio en el cuerpo, lo que disminuye la aceptación global y la intención de compra del consumidor, tal como se ha evidenciado en estudios, donde las muestras menos equilibradas en sabor y amargor reciben menores puntuaciones sensoriales y menor intención de compra (Silva *et al.*, 2020)

4. BENEFICIARIOS

4.1 Beneficiarios Directos

El impacto inmediato recayó sobre 120 estudiantes que cursan la carrera de Agroindustria de la Universidad de Cotopaxi Extensión La Maná y sus siete docentes. Este colectivo fue el favorecido principal, puesto que a investigación les permitió adquirir y profundizar conocimientos especializados.

4.2 Beneficiarios Indirectos

Los 120 estudiantes que cursan las carreras afines, junto con los habitantes del cantón La Maná, es especial los de la parroquia Guasaganda, se beneficiarán por la mejora en los procesos de producción y transformación de café. Aproximadamente 150 agricultores podrán acceder a nuevas oportunidades para el procesamiento directo del grano, fortaleciendo su economía y disminuyendo la dependencia de intermediarios.

5. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

El café es una de las bebidas más consumidas a nivel mundial, conocido no solo por sus características organolépticas, sino también por su alto contenido de compuestos bioactivos, especialmente los ácidos clorogénicos, que actúan como potentes antioxidantes naturales. Dentro de la cadena de valor del café, el proceso de tostado es la etapa crítica que transforma las propiedades físicas y químicas del grano verde, definiendo el perfil final de taza. Sin embargo, mediante el tratamiento térmico podemos promover desarrollo de aromas mediante la reacción de Maillard, pero simultáneamente induce la degradación de compuestos termolábiles (Vignoli *et al.*, 2011).

Existe una compleja relación entre el grado de tueste y la capacidad antioxidante que no siempre es lineal. Además, investigaciones señalan que, a medida que aumenta la intensidad del tostado, los polifenoles originales como el ácido 5-cafeoliquimico se descompone drásticamente; no obstante, en etapas avanzadas se forma melanoidinas, compuestos pardos que pueden ofrecer

una actividad antioxidante compensatoria, aunque de diferente naturaleza biológica. Esta variabilidad sugiere que aplicar un estándar de tostado genérico sin considerar la variedad específica del grano puede resultar en una pérdida significativa de la calidad funcional del producto final, desaprovechando el potencial nutracéutico del café (Vignoli *et al.*, 2011).

En el contexto local, específicamente el cantón La Maná, en la provincia de Cotopaxi, posee condiciones favorables para variedades de café (tanto arábico como robusta) con perfiles distintos de sabor. Sin embargo, la agroindustria cafetera de la zona se caracteriza mayoritariamente por procesos de transformación empíricos o artesanales (Vignoli *et al.*, 2011).

Muchos productores realizan el tostado sin controles precisos de tiempo y temperatura, basándose únicamente en la inspección visual. Esta falta de estandarización técnica provoca una alta heterogeneidad en el producto y lo que es más crítico, degradación de compuestos de antioxidante y polifenoles de las variedades locales. Ante esta realidad, surge la necesidad de determinar científicamente como los diferentes grados de tueste afectan las propiedades químicas de los cafés producidos en La Maná, para así ofrecer directrices tecnológicas que maximicen el sabor como el valor funcional del grano (Vignoli *et al.*, 2011).

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

- Evaluar el efecto de tueste claro, medio y oscuro sobre el contenido compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en variedades de café producidas en el Cantón La Maná.

6.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar el contenido de polifenoles totales y flavonoides de las variedades en estudio.
- Evaluar la influencia del tipo de tueste en la capacidad antioxidante de las muestras de café mediante el método DPPH.
- Realizar un análisis costo-beneficio comparando los tratamientos en estudio y las muestras comerciales.

7. ACTIVIDAD Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. Actividad y sistema de tareas

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS	VERIFICACIÓN
Cuantificar el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides de las variedades en estudio.	Preparación de extractos de café de las diferentes variedades. Elaboración de la curva de calibración con ácido gálico y quercetina. Lectura de absorciones mediante espectrofotometría UV-Vis.	Curva estándar con ácido gálico. Curva estándar con quercetina. Concentración de polifenoles totales y flavonoides. Comparaciones estadísticas entre variedades.	Cuaderno de laboratorio. Reportes espectrofotómetros Datos tabulados y análisis estadísticos
Evaluar la influencia del tipo de tueste en la capacidad antioxidante de las muestras de café mediante el método DPPH.	Aplicación de distintos grados de tuestes (claro, medio, oscuro) en las muestras. Preparación de la solución radical libre de DPPH.	Inhibición de DPPH vs. Trolox. Determinación del grado de tueste óptimo para la conservación de antioxidantes.	Registro de tiempos y temperaturas de tueste. Fotografías de las muestras. Gráficas de capacidad antioxidante.
Realizar un análisis costo-beneficio comparando los tratamientos en estudio y las muestras comerciales.	Identificación de costos de producción de las muestras en estudios. Cotización de precios de mercado de muestras comerciales similares	Comparativa de rentabilidad entre café artesanal y comercial.	Hoja de cálculo financiero

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

8.1 El Café como cultivo

La primera parte “las semillas de la conquista”, describe desde una mirada histórica donde se originó en nombre café de “Kaffa” de una provincia de Etiopía cómo adoptó occidentes el café desde que empezó a poblar el mundo y, en especial, América latina. Es un recorrido sobre la geografía e historia del café. Justamente, los “Reinos del café” describe cómo se insertó este cultivo en la vida social, política y económica de países como Brasil especialmente en el caso de las *fazendas* o la cuestión ética en Guatemala, Nicaragua; y el caso de México El Salvador y Costa Rica (Kucukkomur & Ozgen *et al.*, 2009).

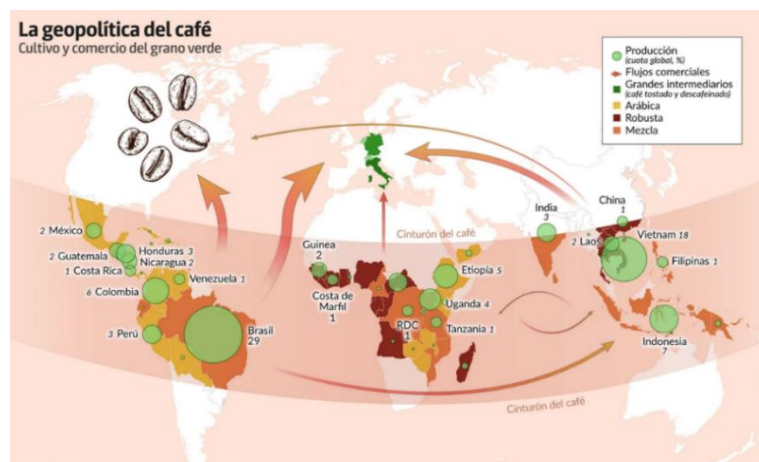
El café constituye un recurso agrícola de vital importancia económico y social para el Ecuador, siendo una fuente generadora de divisas y de empleo para más de un millón de personas (Kucukkomur & Ozgen *et al.*, 2009). Su estructura productiva se caracteriza porque el 80% de los caficultores corresponden a pequeños y medianos productores, quienes cultivan alrededor de medio millón de hectáreas distribuidas en 19 de las 21 provincias del país.

Agronómicamente, se define como un cultivo conservacionista, establecido predominantemente en terrenos montañosos y quebrados, lo que permite la explotación agrícola en zonas donde otros cultivos podrían causar la degradación del recurso suelo. En cuanto a la producción, se distinguen principalmente dos tipos: los cafetales de tipo arábigo, con una productividad promedio de 230 kg de café oro por hectárea, y los de tipo robusta (*Coffea canephora*), que alcanzan rendimientos de aproximadamente 500 kg por hectárea (Kucukkomur & Ozgen *et al.*, 2009).

8.2 Origen y Distribución

Según la leyenda un pastor llamado Kaédi presenció como sus cabras cambiaron de comportamiento cuando consumieron el fruto de manera que él también los consumió experimentando raras sensaciones, al contarle a su Abad (superior de un monasterio), este preparó una infusión con los granos de café y algunas hojas, dando como resultado una bebida de sabor tan desagradable que el maestro lo tiro al fuego. Al tostarse los granos característicos, iniciando el consumo. Gracias a peregrinaciones el café llego a diferentes países de Europa. Por otro lado, al continente americano ingreso con la colonización por las Antillas, hacia el año de 1800 Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 1993).

Figura 1: Distribución del café



Fuente: (Merino, 2024).

En el mapa (figura 1) de la geopolítica del café ilustra las concentraciones del cultivo en el cinturón del café y de los flujos comerciales globales. Se destaca la cuota de mercado de los principales productores (Brasil y Vietnam) y la distribución geográfica de las variedades de Arábica y Robusta a los países importadores e intermediarios del hemisferio norte (Merino, 2024).

8.3 Características botánicas y taxonomía de la planta

El cafeto es una angiosperma eudicotiledónea perenne, de porte arbustivo o arborescente, con tallo leñoso y ramas plagio trópicas casi horizontales, rasgo típico del género. En condiciones naturales muchos cafetos pueden superar los 5–8 m de altura, pero en cultivo se mantienen podados entre 2 y 3 m para facilitar la cosecha y el manejo agronómico (Ferreira *et al.*, 2019).

Tabla 2. Clasificación taxonómica

Clasificación taxonómica	
Reino	Plantae
Filo	Tracheophyta
Clase	Rubiáceae
Orden	Gentianales
Familia	Rubiáceae
Género	Coffea

Fuente: (Davis *et al.*, 2006).

Presenta una raíz pivotante profunda con abundantes raíces laterales que exploran principalmente los primeros horizontes del suelo, fundamentales para la absorción de agua y nutrientes y muy sensibles a compactación y déficit hídrico (Ferreira *et al.*, 2019). Las hojas son simples, opuestas, siempreverdes, de lámina entera y textura coriácea, con variaciones en tamaño, grosor y densidad estomática entre especies y cultivares, lo que se relaciona con adaptaciones a diferentes ambientes y eficiencia en el uso del agua (Coa *et al.*, 2015).

Las inflorescencias son axilares, dispuestas en fascículos sobre ramas plagiotrópicas. Las flores son hermafroditas, blancas y fragantes, con corola tubular dividida en cinco lóbulos, cinco estambres y un ovario ínfero bilocular; cada lóculo contiene un óvulo, y el estilo termina en dos estigmas. La floración y la transición de yema hinchada a antesis pueden describirse finamente con la escala BBCH (escala de color que indica las etapas de crecimiento de las plantas) ampliada, distinguiéndose estadios de yemas hinchadas, visibles, en latencia y en antesis, con duraciones que rondan los 80 y 90 días según clima y manejo (Coa *et al.*, 2015).

El fruto es una baya “cereza de café”, que normalmente contiene dos semillas; estas presentan una hendidura longitudinal profunda en la cara ventral, característica diagnóstica de Coffea dentro de Rubiaceae. La duración desde la floración hasta la madurez del fruto varía con la especie y el ambiente, pero suele ubicarse entre 6 y 9 meses en *C. arabica*, pudiendo ser más breve en especies silvestres adaptadas a climas secos como *C. racemosa* y *C. zanguebariae* (Davis *et al.*, 2021).

8.4 Diversidad genética y grupos dentro del género *Coffea*

Su fenotipo se modula sobre todo mediante selección de cultivares y manejo (Ferreira *et al.*, 2019). En contraste, diploide y alógama, presentando alta variabilidad en caracteres morfo-agronómicos (porte, vigor, tamaño de fruto y semilla, anatomía foliar), lo que la hace esencial para ampliar la base genética del café cultivado. Estudios recientes con rasgos morfológicos y anatómicos de hojas confirman la existencia de grupos genéticos diferenciados dentro de *C. canephora* y *C. arabica*, útiles para selección de materiales adaptados a estrés hídrico y altas temperaturas (Lisboa *et al.*, 2021).

8.5 Varietales

El término “varietales” en la caficultura se refiere a grupos de plantas dentro de una especie que comparten características morfológicas y genéticas estables adaptadas a condiciones ambientales específicas en el caso del café robusta coffee *kokora* se le denomina así debido a su naturaleza al Obama y su alta variabilidad fenotípica lo que permite la selección de materiales como rasgos deseables como la resistencia a enfermedades y la productividad bajo condiciones subtropicales el uso de las variedades específicas como Ecurobusta Napopayamino y Conilón responde a la necesidad de mejorar los rendimientos locales ya que esos materiales han sido evaluados por su capacidad de adaptación y respuestas productivas diferenciadas según las épocas lluviosas y secas la denominación de estas variedades es fundamental para el agricultor pues garantiza el uso de un material genético con un “idiotipo” definido que asegura características sensoriales excepcionales, mayor tolerancia a plagas como la roya y la broca (Moreira *et al.*, 2025).

8.6 Requerimientos ecológicos y manejo bajo sombra

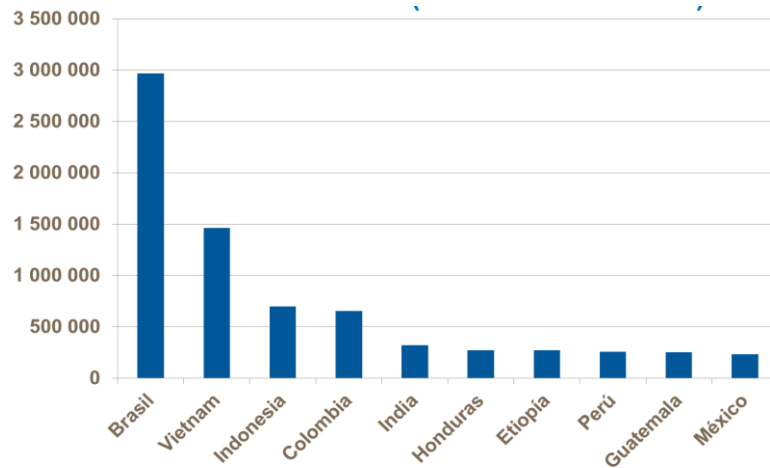
El cultivo de café se concentra en regiones tropicales de altura media, donde temperaturas moderadas y una distribución adecuada de lluvias permiten expresar su potencial productivo. *C. arabica* se asocia típicamente a climas más frescos de montaña, mientras que *C. canephora* tolera temperaturas más altas y menores altitudes. La asociación del cafetero con árboles de sombra en sistemas agroforestales es una práctica extendida: las especies arbóreas regulan el microclima, reducen la radiación directa y la amplitud térmica, mejoran la fertilidad del suelo mediante reciclaje de nutrientes y controlan la erosión (Silva *et al.*, 2023).

En diversos contextos de América Latina se ha documentado una alta riqueza de especies leñosas asociadas a *Coffea arabica*, principalmente leguminosas (*Inga* spp., *Erythrina* spp.) y

frutales, que aportan nitrógeno, diversifican la producción y contribuyen al secuestro de carbono. Evaluaciones recientes muestran que los sistemas agroforestales con café pueden mejorar el vigor, la producción y ciertos rasgos morfo-fisiológicos del cafeto respecto a monocultivos, siempre que se manejen adecuadamente densidad y arquitectura de la sombra (Barrios *et al.*, 2023).

8.7 Producción de café Global

Figura 2: Países exportadores de café



Fuente: FAOSTAT ,2013.

Para el año 2020 se estimó que Brasil y Vietnam concentraron más del 50 % de la producción mundial de café verde, mientras que América Latina en su conjunto (principalmente Brasil, Colombia, Honduras y Perú), explicó alrededor de dos tercios de la oferta global de arábica de alta calidad. En este contexto, se calcula que cerca del 60–80 % del café del mundo proviene de pequeños productores, con fincas usualmente menores de 5 hectáreas, que aportan más del 60% del suministro global a pesar de sus limitadas superficies y bajos niveles de insumos. En Brasil que exporta más 5 toneladas de café anuales, por ejemplo, la producción se ha desplazado hacia micro-regiones especializadas en estados como Minas Gerais, Bahía, Rondônia y Espírito Santo, donde la mayoría de los productores son pequeños y medianos agricultores (Barbosa *et al.*, 2021)

Diversos estudios han señalado que, aunque el café constituye un sector clave para el empleo rural y las exportaciones en América Latina, los ingresos de los caficultores siguen siendo reducidos y muchas familias no alcanzan un ingreso digno, mientras que el mayor valor agregado se concentra en los segmentos de tueste, marcas y distribución minorista en Europa y Norteamérica. El comercio mundial de café verde se ha ido concentrando crecientemente en unos pocos grandes exportadores y también en algunos países no productores que actúan como

nodos logísticos y de reexportación, lo que ha incrementado la desigualdad entre países productores e importadores dentro de la cadena de valor global (Barbosa *et al.*, 2021).

Una particularidad de América Latina es su peso en el segmento de café de alta calidad o “especialidad”, comparable al rol del cacao fino. Zonas de altura en Colombia, Centroamérica, Brasil y México que exportan más del 50 % 35 toneladas del café poseen condiciones agroecológicas que permiten obtener perfiles sensoriales diferenciados, lo que ha favorecido el crecimiento de mercados de especialidad y de iniciativas de comercio directo. Sin embargo, la expansión de estos cafés se ve limitada por factores como la falta de financiamiento, información de mercado, capacidades de poscosecha y organización colectiva, que dificultan la plena inserción de los pequeños productores en estos nichos de mayor valor (Samoggia & Fantini *et al.*, 2023).

En las últimas décadas, la demanda de cafés especiales y de origen ha aumentado, impulsada por la “tercera ola del café” y por consumidores que valoran atributos de calidad, sostenibilidad y trazabilidad. Ello ha incentivado modelos de venta directa de café verde a clientes internacionales, de tueste local y de apertura de cafeterías de productores, que permiten retener una mayor proporción del valor en los países de origen y mejorar los medios de vida de las familias cafetaleras. Si esta tendencia se consolida, podría incrementarse la participación del café de especialidad latinoamericano en el comercio mundial (Barbosa *et al.*, 2021).

8.8 Producción de café en el Ecuador

El café es uno de los cultivos estratégicos de la agricultura ecuatoriana: se cultiva en más de 350 000 ha y genera empleo directo a unas 105 000 familias y empleo indirecto a más de 700 000 personas, sosteniendo economías familiares y regionales en 23 de las 24 provincias del país (Vargas *et al.*, 2021).

Aunque su peso exportador es menor que el del cacao, el café sigue siendo un rubro relevante de ingresos y divisas; en 2020 las exportaciones de café aportaron cerca de 68,8 millones USD. A nivel nacional predominan las especies *Coffea arabica* y *Coffea canephora* (robusta), cultivadas sobre todo en sistemas agroforestales con árboles de sombra, lo que aporta a la conservación de biodiversidad y a la seguridad alimentaria, pero bajo niveles tecnológicos limitados. Por otro lado, investigaciones previas en provincias de Manabí muestran que la caficultura enfrenta baja producción y productividad, desorganización de productores, escaso acceso a servicios básicos y una gestión pública fragmentada, factores que frenan su reactivación y que son similares a los observados en otras zonas rurales cafetaleras del país. Se

propone, por ello, fortalecer la organización de productores, mejorar la asistencia técnica y promover modelos de gestión pública local basados en principios agroecológicos, articulando gobiernos locales, asociaciones y otros actores del sector cafetalero (Vargas *et al.*, 2021).

8.9 Producción de café en La Maná

En el cantón la Maná específicamente en la zona Guasaganda la producción de café se centra en el cultivo de *Coffea canephora* (robusta), destacando las variedades Ecurobusta Napopayamino y Conilon por su adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas del subtrópico. La investigación técnica local indica que estas variedades se responden de manera diferenciada al manejo nutricional donde la variedad conilón ha reportado los rendimientos productivos más altos alcanzando promedios de hasta 350,78 kg/ha bajo sistemas de fertilización balanceada por su parte la variedad eco robusta muestra un desarrollo vegetativo superior en términos de vigor y número de ramas productivas mientras que en apopa y amina sobresale por su mayor superficie foliar no obstante la producción en la zona enfrenta desafíos debido a las ideas de los suelos y de los niveles de nutrientes esenciales lo que requiere una intervención técnica precisa para optimizar los ciclos de cosecha los cuales presentan su mayor pico de rendimiento durante la transición de la época seca a la lluviosa (Vega *et al.*, 2017).

La producción de café en La Maná (Cotopaxi, Ecuador), se inserta en el patrón general de la caficultura ecuatoriana: fincas pequeñas y familiares, con alta dependencia del cultivo de café, pero también con áreas reducidas destinadas a otros cultivos para autoconsumo y diversificación del ingreso (Méndez *et al.*, 2014).

8.10 Estructura productiva y tipos de productores

La producción de café es un motor para a economía ecuatoriana, ya que aporta divisas al estado, genera ingresos para las familias que cultivan café, beneficia a los actores de la cadena productiva del café (comerciantes, transportista, exportadores, microempresarios, obreros de la industria del café) (Macias, *et al.*, 2018).

La caficultura ecuatoriana está dominada por pequeñas unidades de producción campesina (1–10 ha), usualmente en sistemas agroforestales y con alta dependencia de mano de obra familiar. En Sucumbíos, por ejemplo, la superficie cafetalera nacional se estimó en 220 000 ha, con predominio de café arábigo (148 357 ha) frente a robusta (71 255 ha) (Macias, *et al.*, 2018).

Estudios en El Oro muestran que 90 % de los cafetales son de variedad arábica y que más de la mitad de los productores trabajan entre 1 y 5 ha, con rendimientos muy variables (100 >1200 kg al año) pero todos organizados en asociaciones para la venta conjunta (Encalada *et al.*, 2025).

8.11 Especies, regiones y sistemas de cultivo

En Ecuador se cultivan principalmente dos especies de café: *Coffea arabica* y *Coffea canephora* (robusta). *C. Arabica* muestra mayor capacidad de adaptación a distintos ambientes, especialmente en zonas de altura y de clima más fresco, mientras que robusta es menos versátil en adaptación, pero produce más metabolitos secundarios y puede casi duplicar el contenido de cafeína en los frutos maduros. En términos de calidad, el arábica de zonas altas destaca por su mayor contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, asociados a alta capacidad antioxidante y mejores atributos sensoriales. En la Costa y zonas de transición (como el cantón La Maná provincia de, Cotopaxi), se cultivan tanto arábica como robusta, dependiendo de la altitud y del microclima local, lo que permite una oferta diversa de perfiles de taza y niveles de cafeína (Mihai *et al.*, 2024).

Las principales regiones cafetaleras del país se distribuyen en Costa, Sierra y Amazonía. En la Costa (Manabí, Los Ríos, Santa Elena, parte de Cotopaxi y Guayas), predomina el café de pequeños productores, muchas veces en fincas complejas donde el café se combina con otros cultivos y se maneja con tecnología limitada. En la Sierra (por ejemplo, Loja, noroccidente de Pichincha) el arábica de altura se aprecia por su calidad “especialidad”, cultivado entre 800 y 2000 m s. n. m., con potencial de altos precios en nicho de mercados si se mejora el manejo agronómico. En la Amazonía se ha impulsado la siembra de robusta de alto rendimiento, con clones seleccionados por su productividad y adaptación a condiciones cálidas y húmedas (Encalada *et al.*, 2025).

En Ecuador se siembran principalmente *Coffea arabica* (68 % de las plantaciones) y *C. canephora o robusta* (32 %). El cultivo se distribuye en Costa, Sierra y Amazonía; provincias líderes en producción son Sucumbíos, Manabí y Orellana (Vargas *et al.*, 2021).

Predominan los sistemas agroforestales cafetaleros, donde el café se asocia con árboles de sombra (Inga, Citrus, frutales), lo que mejora microclima, conservación de suelos y biodiversidad, contribuyendo a la seguridad alimentaria y nutricional (Macias *et al.*, 2018).

8.12 Mercado, crisis y desafíos

Pese a su importancia social, la producción nacional de café verde ha mostrado tendencia decreciente en la última década; la industria demanda alrededor de 1,5 millones de sacos de 60 kg al año y la oferta interna solo cubre cerca del 4 al 5 %, obligando a importar café de países como Vietnam e Indonesia (Vargas *et al.*, 2021).

Los principales problemas identificados son: bajos rendimientos, envejecimiento de plantaciones, plagas y enfermedades, altos costos, baja tecnificación y limitada diversificación de mercados. Iniciativas públicas como la “Reactivación de la caficultura” buscan mejorar productividad mediante renovación de cafetales, impulso de sistemas agroforestales y fortalecimiento organizativo (Encalada *et al.*, 2025).

El mercado del café en el Ecuador y específicamente en regiones como Jipijapa ha transitado de ser el motor del desarrollo económico a enfrentar una crisis estructural profunda caracterizada por una drástica caída de los niveles de producción y la pérdida de competitividad internacional según la investigación esta crisis se debe a la falta de renovación de cafetales envejecidos el impacto de plagas como la roya y la volatilidad de los precios internacionales lo que ha generado un desincentivo en el producto local el desafío fundamental reside en la reactivación del sector mediante la implementación de políticas públicas efectivas la tecnificación de los procesos de cultivos y la búsqueda de mercados diferenciados que valoran la calidad sensorial del grano sólo a través de una transformación productiva que supere la dependencia de métodos tradicionales el café podrá retomar un rol como dinamizador de la economía regional y mejorar las condiciones de vida de las familias caficultoras (Suatunce *et al.*, 2009).

8.13 Varietales de café producidas en el Cantón La Maná

8.13.1 Napopayamino

El café Robusta (Napopayamino), contiene altos niveles de cafeína, ácidos clorogénicos (principalmente 3-O, 4-O y 5-O-cafeoilquínico), trigonelina y compuestos fenólicos, todos con fuerte capacidad antioxidante. Estos compuestos ayudan a neutralizar radicales libres y pueden contribuir a la protección frente a enfermedades metabólicas y neurodegenerativas (Skowron *et al.*, 2015).

8.13.2 Conilon

La variedad Robusta (Conilon), también es rica en cafeína y ácidos clorogénicos, además de contener flavonoides y saponinas. Estos compuestos no solo aportan actividad antioxidante, sino que también pueden influir en la reducción del colesterol y la protección cardiovascular, dependiendo del perfil genético y del procesamiento del grano (Herawati *et al.*, 2019).

8.13.3 Ecurobusta

El Robusta (Ecurobusta) destaca por su contenido en compuestos fenólicos y trigonelina, además de cafeína. Estos bioactivos contribuyen a la capacidad antioxidante y pueden tener efectos neuro protectores, ayudando a prevenir el daño oxidativo y mejorando la función cognitiva (Wongsa *et al.*, 2019).

8.14 Calidad del café

La calidad del café se conceptualiza como la integración de las características físicas de grano y las propiedades organolépticas de las bebidas que confirma las especificaciones para su comercialización y determina la satisfacción del consumidor. La evaluación abarca dos dimensiones principales; La calidad física, que examina la apariencia, color, olor fresco, granulometría y un contenido de humedad óptimo entre el 10-12% para garantizar la inocuidad y conservación y la calidad sensorial, valorada mediante la técnica de captación la cual mide atributos subjetivos pero estandarizables como el aroma, acidez, cuerpo, amargor, dulzor. Así mismo se establece teóricamente que la calidad no es intrínseca solo al grano si no que es el resultado acumulativo de la interacción de factores genético (especie y varietal), ambientales (altitud y suelo), agronómicos (sanidad y madurez del fruto) y de las prácticas tecnológicas aplicadas durante el beneficio, el tueste y la preparación de la bebida (Quintero *et al.*, 2013).

8.15 Propiedades del café

La planta de café se considera de gran importancia en las actividades agrícolas de varios países de América Latina, entre ellos el Ecuador, donde aporta al empleo rural y a la generación de divisas no petroleras. El café forma parte de la vida cotidiana de comunidades campesinas y pequeños productores, que lo cultivan principalmente en sistemas agroforestales y dependientes de mano de obra familiar. La literatura refiere que, a nivel mundial, el café arábigo representa la mayor proporción del mercado de café de calidad, mientras que el robusta se destina sobre todo a cafés solubles e industriales, con diferencias notables en su composición química, perfil

sensorial y propiedades funcionales (ácidos clorogénicos, cafeína, lípidos) (Kucukkomur & Ozgen *et al.*, 2009).

Los estudios de las propiedades del café reflejan niveles de acidez titulable y pH, íntimamente relacionados con la variedad, el grado de madurez, el tipo de fermentación y el tueste. Se ha informado que la fermentación de los granos de café (en procesos húmedos o semi-húmedos), genera ácidos orgánicos como el láctico, acético y otros, producto de la degradación microbiana de la pulpa, los cuales pueden difundirse al interior del grano, modificando su acidez y el pH de la bebida final. Durante el secado, en el tueste, parte de estos ácidos se volatiliza o se transforma, lo que tiende a elevar ligeramente el pH y a reducir la sensación de acidez excesiva, similar a lo descrito para el cacao. Sin embargo, una acumulación muy elevada de ácidos orgánicos, asociada a fermentaciones defectuosas, conduce a granos y bebidas con sabor marcadamente ácido o avinagrado, lo que repercute negativamente en la calidad del café (Celi *et al.*, 2024).

En relación con el pH, diversos trabajos señalan que las infusiones de café presentan valores típicos entre 4,7 y 5,6, dependiendo del origen, el grado de tueste y el método de preparación. Se ha señalado que pH muy bajos se asocian a presencia de ácidos no volátiles indeseables, que confieren al café notas desagradables y penalizan su calidad sensorial, sobre todo en cafés de especialidad. Así mismo, se ha observado que el café preparado en caliente y en frío puede presentar pH similares, pero el café caliente exhibe mayor acidez titulable, lo que se traduce en una percepción de mayor acidez en boca (González *et al.*, 2024).

Diferentes investigaciones destacaron las propiedades antioxidantes del café, asociadas fundamentalmente a los compuestos fenólicos (especialmente los ácidos clorogénicos), y a las melanoidinas formadas durante el tueste. Se ha informado que el café verde y los tuestes claros o medios presentan contenidos elevados de polifenoles totales y alta capacidad antioxidante, que pueden disminuir cuando el tueste es muy intenso, debido a la degradación térmica de los ácidos clorogénicos, aunque parte de esta actividad se mantiene por las melanoidinas formadas en la reacción de Maillard. Estudios comparativos han mostrado que el café puede presentar actividades antioxidantes *in vitro* comparables o superiores a otras bebidas ricas en polifenoles, lo que lo convierte en una fuente importante de compuestos bioactivos en la dieta. En este sentido, se ha destacado que la actividad antioxidante del café podría ejercer efectos benéficos para la salud humana, al contribuir a la neutralización de radicales libres y, potencialmente, reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, ciertos tipos de cáncer y enfermedades

neurodegenerativas, aunque estos efectos dependen de la dosis, del patrón de consumo y de la susceptibilidad individual (Celi *et al.*, 2024).

Otros trabajos en diferentes países han evaluado el contenido de compuestos fenólicos totales en café verde y tostado, reportando valores que expresados como equivalentes de ácido gálico (EAG), muestran reducciones significativas con el aumento de la temperatura y el tiempo de tueste, debido a reacciones de degradación y polimerización similares al pardeamiento enzimático o no enzimático descrito en cacao. Así mismo, se ha observado que la forma de procesamiento (lavado, natural, honey) y las condiciones de fermentación pueden modificar la concentración de polifenoles y la capacidad antioxidante en los granos, y por tanto en la bebida (Celi *et al.*, 2024).

La literatura consultada también se refiere al contenido de compuestos lipídicos en el café, que varía en función de la especie (arábica o robusta), y las condiciones de cultivo y procesamiento. Se ha reportado que los granos de café contienen entre 5 y 10 % de aceites, formados por triglicéridos en cuya fracción de ácidos grasos predominan el ácido linoleico, palmítico, esteárico y oleico, con pequeñas variaciones según el origen y el grado de tueste. Estos lípidos, que constituyen la base de los aceites de café, son importantes en el desarrollo del cuerpo y la cremosidad de la bebida, además de tener aplicaciones potenciales en la industria alimentaria y cosmética. Por otra parte, el café se caracteriza por su contenido en metilxantinas, principalmente cafeína, cuya concentración depende de la especie (mayor en robusta que en arábica) y del procesamiento; la cafeína es relativamente estable al tueste y se asocia a efectos estimulantes sobre el sistema nervioso central, así como a posibles efectos antioxidantes y moduladores del metabolismo (González *et al.*, 2024).

En el café, los polifenoles incluyen principalmente ácidos hidroxicinámicos (como los clorogénicos, cafeico y ferúlico), y en menor proporción, flavonoides y taninos condensados. Estudios en cafés comerciales e instantáneos muestran que tanto los polifenoles totales como los flavonoides contribuyen directamente a la actividad antioxidante, observándose correlaciones claras entre el contenido de estos compuestos y la capacidad de neutralizar radicales libres o reducir metales en distintos ensayos *in vitro* (Vega *et al.*, 2017).

El proceso de tueste modifica el perfil fenólico: el café verde conserva más polifenoles “originales”, mientras que el tueste reduce parte de ellos, pero, al mismo tiempo, genera nuevas moléculas de naturaleza fenólica y melanoidinas con función antioxidante. De este modo, tuestes medios suelen mantener un equilibrio entre buen perfil sensorial y retención de

metabolitos antioxidantes, incluyendo fenoles totales y flavonoides, lo que se traduce en una capacidad antioxidante relevante en la bebida final. (Liczbiński & Bukowska *et al.*, 2022).

Además de los granos, subproductos como la pulpa de café y los residuos de café usado contienen cantidades apreciables de polifenoles y flavonoides, con una actividad antioxidante significativa, lo que ha llevado a proponer su aprovechamiento en el desarrollo de ingredientes funcionales o aditivos naturales para alimentos, orientados a reducir la oxidación lipídica y el daño oxidativo en matrices alimentarias y potencialmente en el organismo (shialegui *et al.*, 2021).

8.16 Tipos de tueste

8.16.1 Tueste claro

El tueste claro conserva más los aromas originales del café (florales, frutales y herbales), así como una acidez más marcada y una sensación en boca más ligera. En general, los tuestes claros se asocian con mayor percepción de acidez y notas dulces/afrutadas que se van perdiendo al aumentar el grado de tueste que va de 8 a 10 minutos. En este grado también se mantiene un contenido más elevado de ácidos clorogénicos y otros compuestos fenólicos, que disminuyen progresivamente con tuestes más oscuros. Pequeñas variaciones de tiempo o temperatura dentro de este rango modifican la acidez percibida y la complejidad aromática, ya que cambian el equilibrio entre ácidos, azúcares y compuestos volátiles como furanos y pirazinas (Shi *et al.*, 2024).

8.16.2 Tueste medio

El tueste medio suele ofrecer el mejor equilibrio entre acidez, dulzor y aromas de origen, con notas a caramelo, chocolate suave y frutos secos. A medida que se avanza dentro del rango medio hacia más oscuro, disminuye la acidez y aumenta el cuerpo y la sensación de dulzor, debido a una caramelización más intensa y a mayor formación de compuestos tostados (furfurales, pirazinas) que va de 14 a 21 minutos. Cambios pequeños en el grado exacto de tueste medio pueden modificar claramente el cuerpo (más ligero o más denso), la intensidad de las notas dulces y cuánto se perciben aún los sabores de origen (frutales, florales) frente a los achocolatados y tostados (Yeager *et al.*, 2023).

8.16.3 Tueste oscuro

El tueste oscuro se caracteriza por el predominio de notas amargas, tostadas, ahumadas y, en casos extremos, carbonizadas. En este nivel, muchos aromas de origen se pierden y se imponen

los sabores derivados del propio proceso de tostado; el cuerpo suele sentirse más pesado, pero la complejidad aromática de origen disminuye. A medida que se incrementa la oscuridad del tueste, aumentan el amargor, la astringencia y las notas ahumadas, se reduce notablemente la acidez y pueden aparecer sabores a quemado si se sobrepasa el punto óptimo. Pequeños cambios de tiempo o temperatura en este rango pueden determinar si la taza resulta intensamente tostada pero agradable o directamente áspera y carbonizada para el consumidor. El tueste oscuro predomina las notas amargas, tostadas, ahumadas y a veces carbonizadas que van de 24 a 30 minutos dependiendo de la especie y tipo de café (Giacalone *et al.*, 2019).

9. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS

9.1 Ha: El tipo de tueste influye en la composición fenólica y capacidad antioxidante del café.

9.2 Ho: El tipo de tueste no influye en la composición fenólica y capacidad antioxidante del café.

10. METODOLOGÍA

10.1 Ubicación y duración del ensayo

La investigación se ejecutó en un periodo de tres meses (octubre a diciembre 2025), siguiendo dos fases, la inicial se concentró en el trabajo de campo en el Centro Experimental Sacha Wiwa que se encuentra ubicado en la parroquia de Guasaganda del Cantón La Maná, en estas instalaciones se cultivan las diferentes variedades de café que fueron seleccionadas para este estudio.

Posteriormente las muestras fueron recolectadas y sometidas a procesos semi industriales a escala piloto. La segunda etapa consiste en análisis exhaustivos a nivel de laboratorio. Dichos análisis se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio de germoplasma y en el laboratorio de análisis básicos agroindustriales y planta agroindustrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná.

10.2 Tipos de investigación

10.2.1 Investigación científica

La investigación constituye un ejercicio analítico que emplea procedimientos especializados para abordar interrogantes específicos. Si bien la selección de herramientas metodológicas depende directamente del problema a resolver, existe una arquitectura general que proporciona

coherencia y orden a cualquier proceso de generación de conocimiento científico (Hurtado *et al.*,2020).

10.2.2 Investigación experimental

El diseño experimental se fundamenta en un marco de acciones metódicas orientadas a la obtención de datos empíricos. Sus rasgos distintivos es la intervención deliberada sobre una variable independiente no verificada, bajo un entorno de control escrito; esto con el propósito de identificar las causas subyacentes y explicar los mecanismos que originen un fenómeno o evento determinado (Hurtado *et al.*,2020).

10.2.3 Investigación descriptiva

Se centra en la caracterización de poblaciones o fenómenos específicos, orientados al registro y análisis de su naturaleza actual. Según el enfoque clásico de la metodología, esta modalidad no solo interpreta el funcionamiento de grupos u objetos en el presente, busca identificar estructuras fundamentales en conjuntos homogéneos.

10.3 Técnicas

Observación de campo y laboratorio: Esta técnica de recolección de datos, aplicada en contexto naturales o controladas, garantiza un dominio integral sobre el proceso investigativo.

10.4 Condiciones agrometeorológicas

Tabla 3. Condiciones meteorológicas de la Parroquia de Guasaganda

Parámetros	Valores promedios
Altitud m.s.n.m	503.00
Temperatura media anual °C	22.00
Precipitación media mm/año	2761.00
Humedad relativa %	88.00
Heliofanía (hora/luz/año)	570.00
Topografía	Regular
Textura	Franco arenoso

Fuente: Estación del instituto Nacional de meteorología e hidrología (INAMHI, 2026).

10.5 Materiales y quipos

10.5.1 Material vegetal

Tabla 4. Tipos de varietales utilizados en el estudio

Nº	Varietal
1	Conilon
2	Napopayamino
3	Ecurobusta
4	Mix robusta

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026)

10.5.2 Otros equipos, reactivos y materiales

Tabla 5. Materiales y equipos

Materiales y equipos	Cantidad	Descripción
Agua destilada	1	pureza $\geq 99,9$ %.
Carbonato de sodio	1	pureza $\geq 99,5$ %.
Metanol	1	pureza $\geq 99,8$ %.
DPPH	1	pureza ≥ 95 %.
Trolox	1	pureza ≥ 99 %.
Acido gálico	1	pureza ≥ 98 %.
Quercetina	1	pureza ≥ 95 %.
Folin-ciocalteu	1	reactivo analítico, solución líquida.
Nitrato de aluminio	1	pureza ≥ 98 %.
Acetato de potasio	1	pureza ≥ 99 %.
Balanza analítica	1	sensibilidad 0,0001 g,
Espectrofotómetro	1	UV-Vis,
Plancha de calentamiento	1	control térmico, uso laboratorio,
Equipo soxhlet	1	vidrio borosilicato,

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

10.6 Factores bajo estudio

En la investigación se realizó utilizando un diseño completamente al azar DCA con un arreglo factorial 4x3, en el cual el factor A son los varietales en estudio (Conilón: A1, Napopayamino: A2, Ecurobusta: A3, Mix Robusta: A4) y, el factor B que es el tipo de tueste (Tueste Claro: B1, Tueste Medio: B2, Tueste Oscuro: B3).

Factor (A): Varietal

A1: Conilon

A2: Napopayamino

A3: Ecurobusta

A4: Mix Robusta

Factor (B) Tipos de tueste

B1: Tueste Claro

B2: Tueste Medio

B3: Tueste Oscuro

Tabla 6. Resumen de los factores de estudio.

Factores		Abreviaturas
Factor (A) Varietal	Conilon	C
	Napopayamino	N
	Ecurobusta	E
	Mix Robusta	M
Factor (B) Tipo de tostado	Tueste claro	B1
	Tueste medio	B2
	Tueste oscuro	B3
Testigos	Testigo claro (comercial)	T01
	Testigo medio (comercial)	T02
	Testigo oscuro (comercial)	T03
	Testigo verde (conilón)	T04
	Testigo verde (napopayamino)	T05
	Testigo verde (ecurobusta)	T06
	Testigo verde (mix robusta)	T07

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

10.7 Diseño del Experimento y Análisis Estadístico.

En el trabajo investigativo se utilizó un diseño completamente al azar, con 12 tratamientos con arreglo factorial 4x3 y 7 testigos con un total de 57 unidades experimentales. Los testigos se incluirán dentro del análisis estadístico (ANOVA) como tratamientos, debido a que se pretende evaluar los compuestos fenólicos y actividad antioxidante en relación a la pérdida que sufren por los tipos de tostado. En cada tratamiento se evaluó la cantidad de contenidos fenólicos y antioxidantes al igual que la absorbancia de las misma mediante espectrofotometría. Para comprar las medias de los tratamientos se aplicó la prueba de *Tukey* ($p \leq 0,05$), utilizando el software Statgraphics centurión versión 19 para el análisis estadístico.

10.8 Esquema del Experimento

Para la ejecución de esta fase experimental, se ha diseñado factorial que permite evaluar la interacción entre la materia prima y el procesamiento térmico. El estudio contempla diversas variedades de café, incluyendo testigos comerciales, cafés verdes y variedades específicas como el Conilon, Napopayamino y Ecurobusta, continuación, se muestra el esquema con sus simbologías:

Tabla 7. Esquema de experimento

N°	Varietales	Tipo de tueste	Tratamientos	Repeticiones
1	TESTIGO COMERCIAL	CLARO	T01	3
2	TESTIGO COMERCIAL	MEDIO	T02	3
3	TESTIGO COMERCIAL	OSCURO	T03	3
4	TESTIGO VERDE	SIN TOSTAR	T04	3
5	TESTIGO VERDE	SIN TOSTAR	T05	3
6	TESTIGO VERDE	SIN TOSTAR	T06	3
7	TESTIGO VERDE	SIN TOSTAR	T07	3
8	CONILON	CLARO	T1	3
9	CONILON	MEDIO	T2	3
10	CONILON	OSCURO	T3	3
11	NAPOPAYAMINO	CLARO	T4	3
12	NAPOPAYAMINO	MEDIO	T5	3
13	NAPOPAYAMINO	OSCURO	T6	3
14	ECUROBUSTA	CLARO	T7	3
15	ECUROBUSTA	MEDIO	T8	3
16	ECUROBUSTA	OSCURO	T9	3
17	MIX ROBUSTA	CLARO	T10	3
18	MIX ROBUSTA	MEDIO	T11	3
19	MIX ROBUSTA	OSCURO	T12	3
Total			19	57

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

10.9 Esquema de análisis de varianza

El análisis de varianza con los grados de libertad, se muestran a continuación

Tabla 8: Esquema de análisis de varianza

Fuente de variación	Fórmulas GL	Grados de libertad (GL)
Repetición	(r-1)	2
Tratamientos	(t-1)	18
Factor A (Varietales)	a-1	3
Factor B (Tiempos tostado)	b-1	2
Interacción AXB	(a-1) (b-1)	6
Total	(r.t)-1	20

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

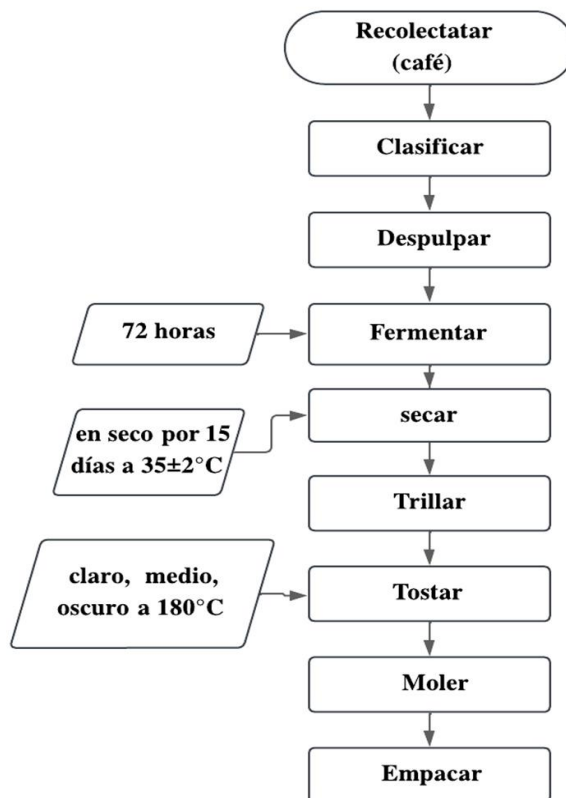
10.10 Manejo experimental

10.10.1 Cosecha y postcosecha

El desarrollo experimental se llevó a cabo siguiendo una secuencia ordenada de operaciones unitarias, desde la recepción de la cereza hasta la obtención del producto molido, a continuación, se presenta el diagrama de flujo (Figura 3) que esquematiza las etapas del proceso, las cuales se describen detalladamente en los apartados siguientes

10.10.2 Diagrama de proceso

Figura 3: Proceso de la elaboración del café



Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

El proceso inicio con la recolección selectiva de granos maduros de las cuatro varietales en estudio, procedentes del centro experimental Sacha Wiwa (parroquia Guasaganda), las muestras se sometieron a una limpieza y clasificación inicial para eliminar impurezas y granos de baja densidad o flotes, garantizando la homogeneidad del lote. Posteriormente se realizó el despulpado mecánico para renovar al exocarpio y de los granos con mucilago se sometieron a un proceso de fermentación donde es un proceso biológico en el cual se aplica gama de microbios autóctonas y secado simultáneo por vía seca en un ambiente controlado de $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 15 días, hasta obtener café pergamino seco (Zhang *et al.*, 2019)

Una vez seco, se procedió al trillado mecánico para retirar el endocarpio y liberara el café oro (almendra) registrando el rendimiento final, tras esta etapa se realizó una clasificación granulométrica para descartar defectos y asegurar la uniformidad del tamaño del grano, finalmente el tostado se llevó a cabo en un equipo Quantik-PRIMO A, en una temperatura constante de 180°C, variando el tiempo de residencia según el nivel de tueste requerido (claro, medio y oscuro), en la tabla 9 las muestras tostadas se molieron en un equipo G3HD ajustando para molienda fina (tipo expreso) y se almacenaron inmediatamente en bolsas herméticas a 4°C para su conservación hasta el análisis (Haile & Kang *et al.*, 2019).

Para la determinación de los tiempos de tueste correspondidos al tratamiento Mix robusta, se calculó el promedio de los tiempos obtenidos individuales para las variedades Ecurobusta, Napopayamino y Conilon, los valores resultantes se estandarizaron experimentalmente para homogenizar el proceso térmico de la mezcla estableciéndose tiempos definidos en la Tabla 9, para los niveles claro medio y oscuro (Casillas *et al.*, 2024)

Tabla 9. Tiempo del grado de tueste de variedades de café robusta

Variedades	Grado de tueste		
	Claro (min)	Medio (min)	Oscuro (min)
Ecurobusta	10	20	30
Conilon	8	14	24
Napopayamino	8	16	27
Mix robusta	8	16	27

Fuente: (Casillas Vega *et al.*, 2024); Vargas & Villalva (2026).

10.10.3 Preparación del extracto acuoso

10.10.3.1 Extracto de café verde (sin tostar)

Para la extracción de compuestos solubles se pesaron 30g de muestra de café molido y se sometieron a un proceso de extracción continua en equipo Soxhlet, utilizando 300ml de agua destilada como solvente, el procedimiento se mantuvo durante 4 horas garantizando una relación sólido-líquido de 1:10 (1g de muestra por cada 10ml de solvente), para asegurar el agotamiento de la muestra (Ribeiro *et al.*, 2024).

10.10.3.2 Extracto del café tostado

A partir de los granos de café tostados y molidos, se preparó un extracto al 2% (p/v) utilizando agua destilada a 80°C, en una plancha de calentamiento con agitación por 30 min 3000 rpm. Posteriormente el extracto resultante se filtró utilizando papel filtro. Este fue utilizado para los análisis posteriores (Faria *et al.*, 2025).

10.10.4 Cuantificación de metabolitos

10.10.4.1 Polifenoles

Se realizó la preparación de la curva de calibración de ácido gálico, se elaboraron soluciones patrón con concentraciones de 0 a 1000 ppm. La solución madre se preparó, se disolvió 0,1 g de ácido gálico en 100 mL de agua destilada (1000 ppm). A partir de esta solución se tomaron volúmenes adecuados para obtener concentraciones de 0, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 250, 500, 750, 100 y 1000 ppm, con agua destilada en un balón aforado de 10 mL.

Para cada una de las soluciones patrón y muestras, se tomó una alícuota de 60 μ L y se colocó en tubos de ensayo; a cada tubo se le añadieron 4740 μ L de agua destilada, 300 μ L de reactivo de Folin-Ciocalteu y 900 μ L de carbonato de sodio al 20 %, se desarrolló el protocolo estándar para la cuantificación de fenoles totales, se homogenizó y se dejó en reposo durante dos horas a temperatura ambiente para posteriormente realizar la lectura de absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 700 nm (Costa Jorge , 1993).

10.10.4.2 Flavonoides

Se cuantificó los flavonoides por el método de espectrometría según metodología (Ribeiro *et al.*, 2024; Faria *et al.*, 2025). con modificaciones (disoluciones con agua destilada). La curva de calibración se elaboró pesando 2,70 mg de quercetina y se disuelve con agua destilada, lo que proporciona 10 ml de solución. Luego se extrajeron de manera sucesiva 100 μ L, 175 μ L, 350 μ L y 750 μ L de la solución preparada anteriormente para disolver con agua destilada hasta su aforo correspondiente en balones aforados de 10 ml. Cada disolución elaborada recibirá 200 μ L de acetato de sodio 1M y 200 μ L de nitrato de aluminio al 10%, permitiendo que repose durante 40 minutos. Finalmente, se llevó a cabo la lectura de las absorbancias en el espectrofotómetro UV-VIS a una longitud de onda de 415 nm (García, 2018).

10.10.4.3 Determinación de la capacidad antioxidante

Para la preparación de la solución se pesó 11,83 mg de DPPH en un balón de 100 ml y aforar con agua destilada luego dejar reposar 30 min protegido de la luz, almacenar en un frasco ámbar, después, la solución de DPPH se ajustó a 1.1 unidades en el espectrofotómetro, a una longitud de onda de 515 nm, Para la curva de calibración, se preparó una solución stock de Trolox a una concentración de 2000 μ M, disolviendo 0.025 g de Trolox en agua destilada y aforando en un matraz de 50 mL. A partir de esta solución madre, se prepararon soluciones

estándar de Trolox con concentraciones de 200, 400, 500, 600, 700, 800 y 900 μM , aforando en balones de 25 mL con metanol puro por (Re *et al.*, 1999).

Se colocaron 150 μL de cada una de estas soluciones estándar y muestra en tubos de ensayo, y posteriormente se añadió 2.850 μL de la solución de DPPH previamente ajustada a absorbancia 1.1. Las mezclas se agitaron y se dejaron en reposo durante 10 minutos a temperatura ambiente, protegidas de la luz. Finalmente, se midió la absorbancia a 515 nm. Para la determinación cuantitativa de polifenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante, se empleó el método de calibración externa. Las absorbancias obtenidas en las muestras fueron interpoladas en las curvas de calibración de sus respectivos estándares (mg QE/g, mg GAE/g y μmol Trolox E/g), utilizando modelos de regresión lineal basados en la ecuación de la recta (Re *et al.*, 1999).

$$y = mx + b$$

Ecuación 1. De la recta

Donde;

y= Variable dependiente: Absorbancia medida por el espectrofotómetro

m= Pendiente: Coeficiente que indica la sensibilidad del método (Cambio de absorbancia por unidad de concentración)

x= Variable Independiente: concentración (Equivalente en Trolox, mg QE/g y mg GAE/g)

b= Intercepto: error residual o el valor del blanco

Los resultados finales se calcularon despejando la variable dependiente (x) de la ecuación lineal obtenida para cada estándar.

10.10.5 Análisis costo-beneficio

Para el análisis económico se determinó los costos fijos y costos variables de los tratamientos utilizados en la presente investigación se analizó el costo de producción por tratamiento (egresos) que fue aplicado en el procesamiento de las variedades de café robusta (Conilon, Napopayamino, Ecurobusta, Mix), y los costos generados por la proyección y venta de los empaques de café de 250g en sus estados verdes y tostados (ingresos). Para la determinación de los costos de materia prima se tomaron como referencia los valores del (MAGAP), 2025, fijando el precio del café robusta cereza en 30,00\$ por quintal.

El diseño de este análisis contemplo que en un lote inicia de 100 lb de café cerezo por cada varietal se realizó una división proporcional de 25 lb para cada uno de los cuatro tratamientos

(verde, tueste claro, medio y oscuro), para el cálculo de los ingresos se consideró una merma experimental del 46.50% (Ulcuango, 2023), compartida por todos los tratamientos derivada de los procesos de beneficio humedad y trillado previos al tostado, lo que permitió proyectar la venta de 24 unidades de 250g por cada fracción de 25 lb procesada de acuerdo.

Se empleó la siguiente ecuación de Pullugando Zurita *et al.*, 2020, para el cálculo de la relación costo/beneficio

$$\frac{RB}{C} = \frac{\sum \text{Ingresos}}{\sum \text{Egresos}} \quad \text{Ecuación 2: Relación costo/beneficio}$$

Donde:

$\frac{RB}{C}$:Relación Beneficio/Costo.

\sum **Ingresos** : Valor actual de los flujos de ingresos (beneficios totales)

\sum **Egresos** :Valor actual de los flujos de costo (inversión + gastos)

Donde los valores

>1: presentan rentabilidad

<1: menor rentabilidad o pérdida económica.

10.11 Análisis Estadístico

Los Análisis estadístico se realizó usado el software Statgraphics Centurión 19, empleando un Análisis de varianza multifactorial (ANOVA), con el objetivo de evaluar el efecto principal de los factores en estudio, así como la interacción, sobre la variable respuesta analizada. Este enfoque permitió identificar si las variaciones observadas en los resultados atribuibles de manera significativa a los factores experimentales considerados a la interacción entre los mismos (Katz *et al.*, 2021).

El análisis se desarrolló bajo un nivel de significancia ($p < 0,05$). Previamente a la aplicación del modelo estadístico, se verificaron los supuestos de la normalidad de los residuos y homogeneidad de varianzas, garantizando la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos (Katz *et al.*, 2021).

Cuando el ANOVA evidencio diferencias estadísticamente significativas, se aplicaron pruebas de comparación de medias para identificar las diferencias específicas entre los tratamientos. Los resultados se expresaron como valores medios acompañado de las letras distintas, las cuales indicaron la existencia de las diferencias significativas entre los niveles de los factores evaluados (Katz *et al.*, 2021).

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

11.1 Contenido de polifenoles en relación a la absorbancia

En la tabla 10 se presenta los valores de absorbancia y concentraciones de polifenoles totales de los 12 tratamientos y 7 testigos evaluados, los cuales incluyen testigos comerciales, cafés verdes sin tostar y varietales experimentales (Conilón, Napopayamino, Ecurobusta y Mix Robusta), sometidas a tres niveles de tostado (claro, medio y oscuro).

Tabla 10: Contenido de polifenoles y Absorbancia

Tratamiento	varietal + Tuestes	Polifenoles (mg GAE/g)	Absorbancia
T01	Testigo Comercial claro	4.12 ^{ab}	0.743 ^{ab}
T02	Testigo Comercial medio	5.52 ^{c f g}	0.996 ^{c f g}
T03	Testigo Comercial oscuro	3.81 ^a	0.688 ^a
T04	Testigo Verde	18.106 ⁿ	3.261 ⁿ
T05	Testigo Verde	15.6 ^m	2.810 ^m
T06	Testigo Verde	10.77 ^k	1.940 ^k
T07	Testigo Verde	13.13 ^l	2.365 ^l
T1	Conilon claro	6.54 ^{hi j}	1.179 ^{hi j}
T2	Conilon medio	5.883 ^{f gh}	1.061 ^{f gh}
T3	Conilon oscuro	5.366 ^{de f}	0.968 ^{de f}
T4	Napopayamino claro	6.96 ^{ij}	1.255 ^{ij}
T5	Napopayamino medio	4.963 ^{cde}	0.895 ^{cde}
T6	Napopayamino oscuro	3.703 ^a	0.699 ^a
T7	Ecurobusta claro	7.213 ^j	1.300 ^j
T8	Ecurobusta claro	6.14 ^{gh}	1.107 ^{gh}
T9	Ecurobusta oscuro	4.583 ^{b c}	0.827 ^{b c}
T10	Mix Robusta claro	7.08 ^j	1.277 ^{ij}
T11	Mix Robusta medio	6.366 ^{hi}	1.148 ^{hi}
T12	Mix Robusta oscuro	4.63 ^{b cd}	0.835 ^{b cd}
EE±		0.13	0.02
P		0.0000	0.0000

Letras desiguales en una misma columna difieren significativamente para $P < 0,05$. Tratamiento; mg GAE/g= miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (polifenoles totales); EE= error estándar.

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

El análisis estadístico de los resultados determino la existencia de diferencias significativas ($p < 0.0000$) entre los tratamientos evaluados lo que confirma que el valor que el factor de procesamiento térmico es la varietal de mayor incidencia sobre la estabilidad fitoquímica del grano, de acuerdo con los datos obtenidos, las concentraciones más elevadas de polifenoles totales se registran en los tratamientos T04 hasta T07 (testigo verde sin tostar) destacando el

T04 (café verde Conilon), con 18.106 mg GAE/g y el T05 (café verde Napopayamino), con 15.6mg GAE/g los cuales se posicionaron en los rangos estadísticos superiores (m y n). esta superioridad analítica de los granos verdes se fundamenta en la integridad de sus estructuras celulares las cuales no han sido vulnerable por procesos de pirolisis, al no existir una exposición de altas temperaturas, los ácidos clorogénicos y otros metabolitos secundarios se preserva en su estado original, evitando la degradación térmica que ocurre habitualmente durante el tostado industrial (Cuenca *et al.*, 2022). Por el contrario los valores más bajos se registraron con los T03 (testigo comercial oscuro), con 3.81 mg GAE/g ubicado en el rango (a), esto revela una pérdida masiva de compuestos fenólicos en los productos industriales, donde la severidad del tueste oscuro destruye los enlaces químicos de los polifenoles para dar paso a características sensoriales de quemado y amargor.

Este comportamiento observado confirma que el proceso térmico de tostado induce en reducción significativa en la concentración de compuestos fenólicos totales. Al respecto, Vega *et al.*, (2017), reporto en cafés comerciales rangos de polifenoles entre 28,60 y 46.82 mg GAE/g para cafés puros, si bien los valores del presente estudio se sitúan en un rango inferior, la tendencia de crecimiento vinculada a la intensidad del tratamiento térmico guarda una correlación directa con lo descrito por (Suárez *et al.*, 2021).

Estos autores sostienen que, aunque el procesamiento postcosecha y el tostado modifican la composición fisicoquímica original, el café conserva una actividad antioxidante relevante. Dicha permanencia se atribuye a la formación de productos de la reacción de Maillard durante el tostado, los cuales poseen propiedades bioactivas que compensan parcialmente la degradación de los fenoles iniciales, manteniendo así el valor funcional de la bebida (Vega *et al.*, 2016).

Al analizar las variedades experimentales T1 al T12, se observan una relación inversa entre el grado de tueste y la retención de polifenoles, en el T7 (Ecuobusta claro), alcanzo 7.213 mg GAE/g (rango j), mientras que el T9 (Ecuobusta oscuro), descendió a 4.583 mg GAE/g (rango b c), un patrón similar se repite en T10 (Mix Robusta claro) supera significativamente al T12 (Mix Robusta oscuro). La degradación térmica observada en los tratamientos se fundamenta en la naturaleza termolábil de los ácidos clorogénicos, que contribuyen a los principales compuestos fenólicos del grano el café. Al respecto Romero y Carrión (2022) sostienen que variables como el estado de materia vegetal y el método de extracción empleado influyen de manera determinante en la cuantificación final de estos metabolitos. En la presente investigación la superioridad analítica de los tratamientos con tostado claro T1, T4, T7 y T10

frente a los testigos comerciales T01 (tueste claro) y T03 (tueste oscuro) sugiere que un manejo controlado de la temperatura durante el procesamiento térmico permite una mayor preservación de la densidad de compuestos bioactivos, este hallazgo permite inferir que las variedades experimentales evaluadas, bajo condiciones de tostado ligero, mantiene un perfil nutracéutico más robusto en comparación de las marcas comerciales evaluadas (Vega *et al.*, 2016).

Finalmente, la alta observación registrada en T04 al T07 (café verdes) refuerzan la importancia de la materia prima, como indica Vega *et al.*, (2017) los polifenoles totales son componentes que aportan un porcentaje determinado a la capacidad antioxidante total del café. Por tanto, los tratamientos experimentales sometidos a un tueste claro en la presente investigación se perfilan como productos con un potencial nutracéutico superior, esto se debe a su capacidad para preservar una mayor concentración de compuestos fenólicos, los cuales son reconocidos por sus beneficios a la salud humana.

Tabla 11: ANOVA de Tratamientos Multifactorial en relación a la absorbancia.

FV	SC	gl	CM	F-Calculada	p-valor (p<0.05%)
Factor A	0.130158	3	0.0433861	36.58	*
Factor B	1.10195	2	0.550974	464.51	*
Interacción A×B	0.140114	6	0.023353	19.69	*
Error	0.284673	24	0.0018614		

Factor A=Variedades; Factor B= Tueste; Interacción A x B= Variedades x Tueste; * = significativo al 0.05%

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

En la tabla 11 se detalla los resultados del análisis de varianza multifactorial aplicado a las absorbancias de polifenoles, el modelo estadístico identificó diferencias altamente significativas ($p=0.00$), para los efectos principales de las variedades (factor A), el grado de tueste (factor B), y la interacción combinada entre ambos factores ($A \times B$).

Al examinarlas razones de varianzas se observa que el factor B (Tueste), ejerce influencia sobre la variable, con un F-calculada de 464.51 superando ampliamente al factor A con 36.58, así mismo la interacción A×B resultó significativa ($F=19.69$), por lo que indica que la absorbancia y la concentración de compuestos fenólicos responden de manera diferenciada según la genética de variedad del tratamiento térmico aplicado (Portillo *et al.*, 2022)

La interacción significativa A×B sugiere que cada variedad posee una resistencia térmica diferenciada, según Portillo *et al* (2022) las características intrínsecas del grano y el

procedimiento postcosecha determinan el perfil químico final, actuando la estructura del grano como una barrera protectora en tuestes ligeros (Portillo *et al.*, 2022).

Factor A

Tabla 12. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de la absorbancia de polifenoles por varietales

Varietales	Absorbancia	Rangos
N2	0.94	A
C1	1.06	B
E3	1.07	
M4	1.08	

C1=conilón, N2= napopayamino, E3=ecurobusta, M4= mix

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

Factor B

Tabla 13. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de la absorbancia polifenoles por tueste

Tuestes	Absorbancia	Rangos
B3	0.82	A
B2	1.05	B
B1	1.25	C

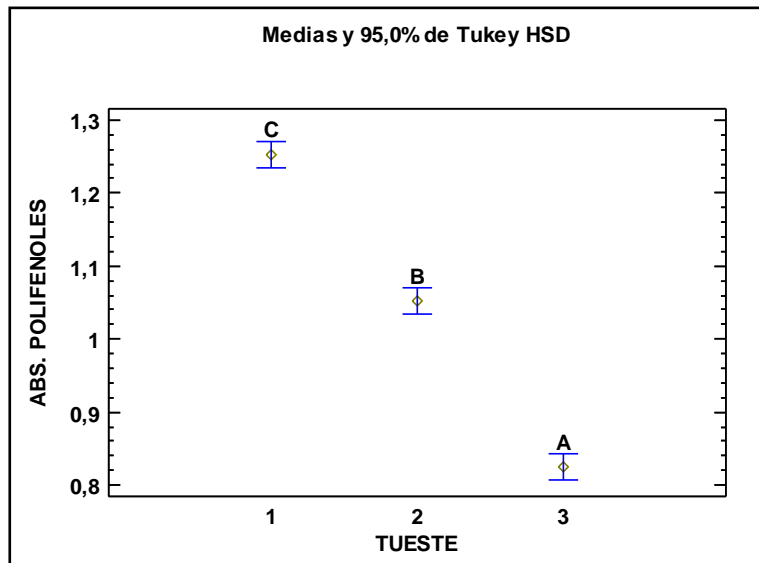
B1= claro, B2=medio, B3= oscuro,

Elaborado por Vargas & Villalva (2026).

Los valores de absorbancia obtenidos para los varietales T4 y T7 (0.94–1.08) y para los diferentes tuestes B3 (Tueste oscuro) y B1 (Tueste claro) (0.82–1,25), indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Tukey al 0,5%, pero en un rango relativamente estrecho. En otros estudios sobre café arábica, el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante muestran variaciones mucho más marcadas entre variedades y a lo largo del tueste. En el estudio de Mestanza *et al.*, 2023 los polifenoles aumentan hasta (1.01-1.15), los primeros minutos de tueste y luego decrecen de forma pronunciada al prolongarse el calentamiento, evidenciando una fuerte sensibilidad térmica de estos compuestos. De forma similar, se ha descrito que cafés verdes y de tueste ligero presentan los niveles más altos de polifenoles totales, mientras que los tuestes oscuros muestran reducciones importantes de estos compuestos y de la capacidad antioxidante (Wu *et al.*, 2022). La comparación sugiere que las absorbancias relativamente bajas u homogéneas observadas podrían deberse a uno o varios factores el grado de tueste posiblemente más intenso o prolongado que el “óptimo polifenólico” descrito por otros autores, donde se equilibra formación y degradación de fenólicos (Mestanza *et al.*, 2023), características intrínsecas de los varietales empleados (contenido inicial de clorogénicos y otros fenoles menor o menos homogéneo, como se ha reportado para distintos cultivares de arábica y robusta) y condiciones de procesado y almacenamiento previas (fermentación, secado, tiempo de almacenamiento), que en café y otros matrices ricas en

polifenoles se asocian con pérdidas adicionales por oxidación y degradación térmica. indica que los valores menores de absorbancia o la menor variabilidad entre tratamientos no reflejan necesariamente una ausencia de polifenoles, sino la combinación de la genética del material, el grado de tueste aplicado y el manejo de postcosecha, todos los factores decisivos en la retención de compuestos fenólicos.

Figura 4. Comparación de las medias de absorbancia para la determinación de polifenoles según el grado de tueste



C= Tueste claro; B= Tueste medio; A= Tueste oscuro

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

La figura 4 evidencia que el grado de tueste influye significativamente en la absorbancia de polifenoles, lo cual fue confirmado mediante el análisis de varianza (Anova) y la prueba de comparación de Tukey ($p < 0.05$). En la figura 5 se observa una disminución progresiva de la absorbancia de polifenoles conforme aumenta la intensidad del tueste.

El tueste 1 (claro), presentó la mayor absorbancia de polifenoles, diferenciándose estadísticamente de los otros grupos de tueste 2 y 3 (grupo C), este comportamiento puede atribuirse a que los polifenoles son compuestos termo-sensibles, por los que temperaturas más bajas y tiempos de exposición reducidos permiten conservar en mayor estos compuestos.

El tueste 2 (medio), mostró valores intermedios de absorbancia (grupo B), lo que sugiere que, a medida que se incrementa la intensidad del tratamiento térmico, ocurre una degradación parcial de los polifenoles. Este proceso ha sido confirmado y se cita que provoca oxidación, descomposición y transformación.

El tueste 3 (oscuro), la menor absorbancia de polifenoles (grupo A), evidenció una pérdida significativa de estos compuestos antioxidantes. Esta disminución puede explicarse por la

ruptura de enlaces químicos y la participación de los polifenoles en la reacción de Maillard, las cuales se intensifican a temperaturas elevadas (Vega *et al.*, 2017).

Tabla 14: ANOVA Tratamientos multifactorial en relación a polifenoles

FV	SC	gl	CM	F-Calculada	p-valor (p<0.05%)
Factor A	4.03547	3	1.34516	36.96	*
Factor B	33.9647	2	16.9823	466.62	*
Interacción A×B	4.30988	6	0.718314	19.74	*
Error	0.873467	24	0.0363944		

Factor A=Varietales; Factor B= Tueste; Interacción A x B= Varietales x Tueste; * = significativo al 0.05%
Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

El análisis de varianza ANOVA presentando en la tabla 14 muestra diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) para los factores principales varietales (factor A), grado de tueste (factor B) y su interacción A×B. Estos resultados confirman que el contenido de polifenoles totales en el grano no es constante, sino que depende de la combinación del origen genético de la muestra y el tratamiento térmico aplicado.

Al observar los valores de la F-Calculada desde el factor B (tueste) con un valor de 466.62 lo cual indica que el tiempo de tueste es la variable mayor indica estadística sobre la degradación de los compuestos fenólicos. Por su parte el factor A (varietales) y la interacción A×B también resulta significativo con valores de 36.96 y 19.74 respectivamente, sugiriendo que la respuesta de los polifenoles al calor varía según su composición química intrínseca de cada varietal.

Esta prevalencia del factor tueste sobre la estabilidad de los polifenoles coincide con el expuesto de Pacheco *et al.*, (2020), quien sostiene que el procedimiento térmico es la etapa de mayor impacto fisicoquímico, donde la temperatura y el tiempo induce la degradación de los fenoles por pirolisis.

Factor A

Tabla 15. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de los polifenoles por variedades

Varietales	Polifenoles (mg GAE/g)	Rangos
N2	5.20	A
C1	5.93	B
E3	5.97	
M4	6.02	

C1=conilón, N2= napopayamino, E3=ecurobusta, M4= mix

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

Factor B

Tabla 16. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de los polifenoles por tueste

Varietales	Polifenoles (mg GAE/g)	Rangos
B3	4.57	A
B2	5.83	B
B1	6.94	C

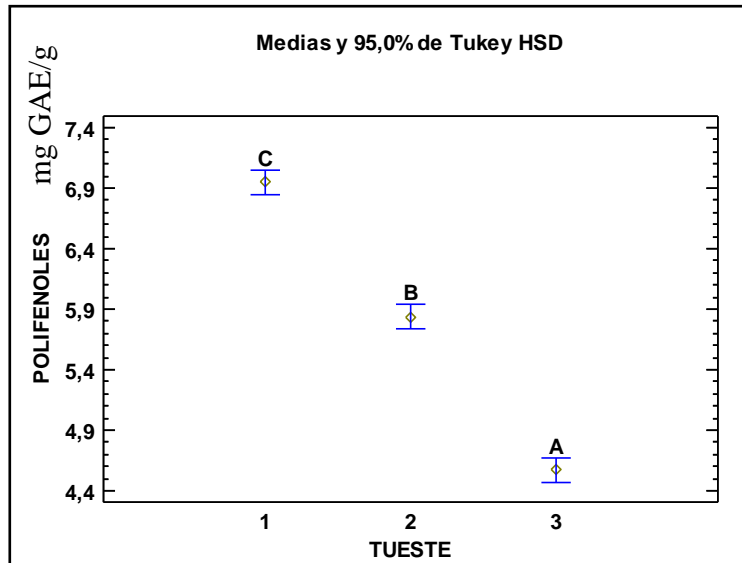
B1= claro, B2=medio, B3= oscuro,

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

Las tablas 15 y 16 contenido de polifenoles muestran que las diferencias entre variedades (5.2–6,0 mg GAE/g) y entre tuestes (4.6–6.9 mg GAE/g), son estadísticamente significativas (Tukey 0,5%), pero se sitúan en un rango absoluto relativamente bajo si se comparan con cafés de estos estudios, donde los contenidos suelen oscilar entre 20 y 45 mg GAE/g en granos verdes o tostados, según variedad, origen y procesamiento (Mehari *et al.*, 2021). En cafés comerciales puros de Panamá se observaron 28,6–46,8 mg GAE/g (Vega *et al.*, 2017), mientras que distintos variedades de arábica y robusta sometidos a tueste claro–medio alcanzan 33–42 mg GAE/g. Por tanto, los valores registrados en T4 (Napo), C1 (Conilon), T7 (Ecu) y T10 (Mix), así como el nivel de tueste B3 (Tueste oscuro), B2 (Tueste medio) y B1 (Tueste claro), probablemente reflejan una combinación de materia prima con menor carga fenólica inicial (variedades específicos, condiciones edafoclimáticas y región, factores que se sabe modifican fuertemente los polifenoles en arábica (Vega *et al.*, 2017); grado de tueste relativamente intenso, ya que múltiples trabajos muestran que el aumento de temperatura/tiempo reduce el contenido de polifenoles, especialmente en tuestes oscuros, aunque algunos autores describen un máximo en tueste claro–medio antes de la degradación marcada y condiciones de poscosecha y extracción, dado que fermentación, secado, almacenamiento y el propio método de extracción pueden disminuir la fracción fenólica cuantificada frente a los valores potenciales de la matriz. La tendencia observada en el factor B (B1 > B2 > B3), es coherente con lo descrito en estudios donde tuestes más suaves o medios concentran mayores niveles de polifenoles que los

tuestes más intensos (Mehari *et al.*, 2021). Aunque los contenidos absolutos son inferiores a los reportados por otros autores, el patrón de respuesta a varietal y tueste coincide con los demás autores, indicando que la genética del café, el origen geográfico, el manejo postcosecha y la intensidad del tueste son determinantes en que estos cafés presenten menores niveles de polifenoles totales.

Figura 5. Comparación de las medias en concentración de polifenoles según el grado de tueste

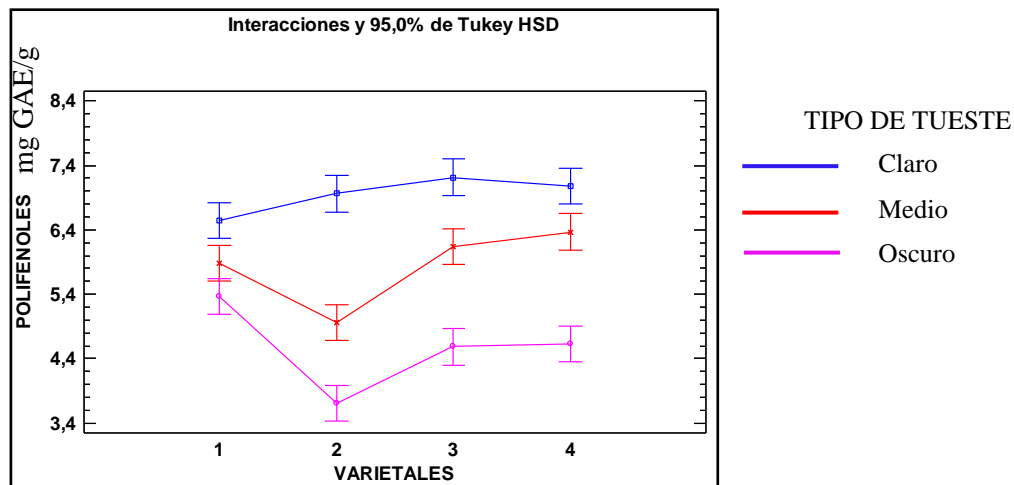


C= Tueste claro; B= Tueste medio; A= Tueste oscuro

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

En la figura 5 se observa una disminución significativa del contenido de polifenoles a medida que aumenta el nivel de tueste. El tueste 1 (claro), presenta el valor más alto de polifenoles, seguido por el tueste 2 (medio), mientras que el tueste 3 (oscuro), muestra el valor más bajo. Las letras distintas (C, B y A), indican que todos los tratamientos difieren estadísticamente entre sí ($p < 0.05$), confirmando que el grado de tueste tiene un efecto significativo sobre el contenido de polifenoles.

Esta tendencia puede atribuirse a la degradación térmica de los compuestos fenólicos, principalmente los ácidos clorogénicos, así como a su transformación e incorporación a incrementaron las melanoidinas durante la reacción de Maillard conforme el tiempo o la severidad del tueste aumentan. Como resultado, se reduce la cantidad de polifenoles libres y cuantificables, lo que se refleja en los menores valores observados en los tuestes más intensos (Anh-Dao, 2021).

Figura 6: Interacción de concentración de polifenoles totales entre varietales y tueste

1= Napopayamino; 2= Conilon; 3= Ecurobusta; 4= Mix Robusta

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

La figura 6 muestra el efecto combinado del tipo varietal y el nivel de tueste sobre el contenido de polifenoles, junto con los intervalos de confianza al 95% y la comparación mediante Tukey HSD. Se observa que el contenido de polifenoles está influenciado tanto por el varietal como por el grado de tueste, así como por la interacción entre ambos factores.

En todos los varietales, el tueste 1 (claro) presenta consistentemente los valores más altos de polifenoles, mientras que el tueste 3 (oscuro) muestra los valores más bajos, confirmando el efecto negativo del aumento de la severidad del tueste sobre estos compuestos. No obstante, la magnitud de la disminución varía entre varietales, lo que evidencia una respuesta diferencial al tueste.

Se destaca que en el varietal 2 (conilon) se observa la mayor reducción de polifenoles al pasar de tueste 1 a tueste 3, lo que sugiere una mayor susceptibilidad de sus compuestos fenólicos a la degradación térmica y a las transformaciones asociadas a la reacción de Maillard. En contraste, los varietales 3 (Ecu) y 4 (Mix) muestran una respuesta más estable, con una recuperación parcial del contenido de polifenoles en el tueste intermedio, lo que podría relacionarse con diferencias en la composición inicial de ácidos clorogénicos o en la formación de melanoidinas (Anh-Dao, 2021).

11.2 Contenido de flavonoides en relación a la absorbancia

En tabla 17 se presentan los valores de la absorbancia y concentración de los flavonoides totales de los 12 tratamientos y los 7 testigos evaluados, los cuales incluyen testigos comerciales, cafés verdes sin tostar y varietales experimentales (Conilón, Napopayamino, Ecurobusta y Mix robusta), sometidas a tres tipos de tueste (claro, medio, oscuro).

Tabla 17: Contenido de Flavonoides y Absorbancia.

Tratamiento	Varietal +Tuestes	Flavonoides (mg QE/g)	Absorbancia
T01	Testigo Comercial claro	36.493 ^c	0.053 ^a
T02	Testigo Comercial medio	42.19 ^f	0.091 ^a
T03	Testigo Comercial oscuro	33.75 ^b	0.055 ^a
T04	Testigo Verde	39.666 ^e	0.568 ^{e f g}
T05	Testigo Verde	39.21 ^{d e}	0.499 ^e
T06	Testigo Verde	38.8 ^d	0.332 ^{c d}
T07	Testigo Verde	39.806 ^e	0.401 ^d
T1	Conilon claro	0.538 ^a	0.538 ^{e f}
T2	Conilon medio	0.359 ^a	0.624 ^g
T3	Conilon oscuro	0.359 ^a	0.359 ^{c d}
T4	Napopayamino claro	0.703 ^a	0.703 ^h
T5	Napopayamino medio	0.359 ^a	0.359 ^{c d}
T6	Napopayamino oscuro	0.232 ^a	0.232 ^b
T7	Ecurobusta claro	0.582 ^a	0.582 ^{f g}
T8	Ecurobusta claro	0.491 ^a	0.491 ^e
T9	Ecurobusta oscuro	0.316 ^a	0.316 ^e
T10	Mix Robusta claro	0.563 ^a	0.563 ^{e f g}
T11	Mix Robusta medio	0.509 ^a	0.509 ^{e f}
T12	Mix Robusta oscuro	0.363 ^a	0.363 ^{c d}
EE±		0.12	0.014
P		0.0000	0.0000

Letras desiguales en una misma columna difieren significativamente para $P < 0,05$, Abs= absorbancia; CF= contenido de flavonoides; mg QE/g= miligramos equivalentes de quercetina por gramo de muestra; EE= error estándar.

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

En análisis estadístico de los resultados determinó la existencia de diferencia altamente significativa ($p < 0.000$), entre los tratamientos evaluados, lo confirma que el procesamiento térmico es el factor de mayor incidencia sobre la estabilidad de estos metabolitos específicos. De acuerdo con los datos obtenidos las concentraciones más elevadas de flavonoides se registraron en el T02 (testigo comercial claro), con 42.19 mg/QE/g y en T07 y T04 (testigos verde sin tostar), con 39.806 y 39.666 mg/QE/g respectivamente posicionándose en los rangos estadísticos superiores (f y e), esta superioridad en los granos verdes se fundamenta en la preservación de flavonoides y flavonas que no han sido vulnerables por proceso de pirolisis, manteniendo su estructura original al evitar la exposición de altas temperaturas (Cortes *et al.*, 2019).

por el contrario, los valores más bajos de la serie experimental se registraron mayoritariamente en los tratamientos sometidos a tuestes oscuros y medios destacando el T6 (Napopayamino oscuro), con 0.232 mg/QE/g (rango a), este comportamiento revela una pérdida masiva de flavonoides en los tratamientos del T1 al T12 donde todas las concentraciones descendieron a niveles críticos por debajo de 1 mg/QE/g. al analizar la variable de absorbancia (tabla 17), se observó una relación inversa e inesperada en comparación con la concentración final, el T4

(Napopayamino claro) alcanzo la mayor absorbancia con 0.703 mg/QE/g rango (rango h), mientras que los T01 al T03 (testigos comerciales), presentaron las absorbancias más bajas de 0.053 al 0.055 mg/QE/g esta discrepancia sugiere que aunque el equipo detecta compuestos a esa longitud de onda, la transformación química de flavonoides es casi total según Jung *et al*, (2021) el procesamiento industrial puede afectar significativamente la cantidad de flavonoides.

Finalmente, la drástica reducción observada en los tratamientos T1 al T 12 refuerza lo planteado por Cortes *et al*, (2019) quien afirma que el tueste es la etapa más crítica donde se define el perfil químico final. La baja retención de flavonoides en las muestras experimentales en comparación con los testigos comerciales indica que para preservar estos metabolitos reconocidos por su elevada acción antioxidante y prevención del estrés oxidativo Pacheco *et al.*, 2020 estos resultados demuestran que es vital controlar con mayor precisión el tiempo y la temperatura para evitar que el café pierda su valor saludable o potencial nutraceutico.

Tabla 18: ANOVA de Tratamientos Multifactorial de la Absorbancia

FV	SC	GI	CM	F-Calculada	p-valor (p<0.05%)
Factor A	0.0269488	3	0.00898293	8.85	*
Factor B	0.479488	2	0.239744	236.31	*
Interacción A×B	0.1600252	6	0.0267086	26.33	*
Error	0.024349	24	0.00101454		

Factor A=Varietales; Factor B= Tueste; Interacción A x B= Varietales x Tueste; * = significativo al 0.05%

Los resultados del análisis de varianza detallado en la tabla 18 revela que si existe una significancia estadística elevada ($p < 0.05$) tanto para los efectos individuales de los varietales (factor A) y el grado de tueste (factor B), como para su interacción A×B. esta evidencia corrobora que la absorbancia vinculada a los flavonoides no es constante, sino que fluctúan significativamente en función de material genético seleccionado y la intensidad del proceso térmico aplicado.

Al examinar la magnitud de la F- Calculada, el factor A (tueste), sobresale con un valor de 236.31 consolidándose como la variable de mayor peso e impacto sobre la alteración de estos metabolitos, así mismo el hecho de que el factor A (8.85), y la interacción A×B (26.33), también presenten significancia, demuestra que la estabilidad térmica de los flavonoides responde de manera diferenciada según las propiedades fisicoquímicas intrínsecas de cada varietal evaluado.

Está marcado sensibilidad significancia ante el incremento de la temperatura coincide como lo reportado por Mahalingam & Zaidi, 2024 quienes explican que los compuestos fenólicos del

café son vulnerables a transformaciones químicas profundas durante el proceso la variabilidad explicada por el factor térmico sugiere que el calor actúa rompiendo los enlaces de estos antioxidantes naturales mientras que la interacción significativa confirma que la estructura del grano de cada variedad ofrece distintos niveles de resistencia frente a la pirolisis.

Factor A

Tabla 19. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de la absorbancia de flavonoides por variedades

Varietales	Absorbancia	Rangos
N2	0.43	A
E3	0.46	B
M4	0.47	C
C1	0.50	

C1=conilón, N2= napopayamino, E3=ecurobusta, M4= mix

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

Factor B

Tabla 20. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de la absorbancia de flavonoides por tueste.

Varietales	Absorbancia	Rangos
B3	0.31	A
B2	0.49	B
B1	0.59	C

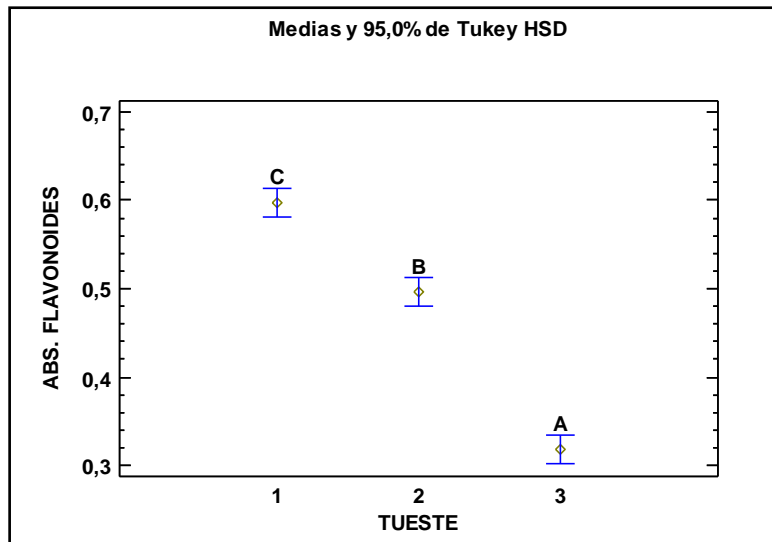
B1= claro, B2=medio, B3= oscuro,

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

Los resultados de la prueba de Tukey al 0,5 % para la absorbancia de flavonoides, se observa que, para el factor varietal (Tabla 19), el café C1 (Conilon), presenta la mayor absorbancia (0.50), seguido por T10 (0.47) (Mix), T7 (0,46) (Ecu) y T4 (0.43) (Napo), conformando rangos estadísticamente diferenciados (A, B, C). Esto indica que la variabilidad genética entre las variedades influye de manera significativa en la concentración de flavonoides extraíbles, lo que coincide con reportes en café donde se ha demostrado que el genotipo determina diferencias en el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides por variaciones en la densidad del grano, el grosor del endospermo y la ruta biosintética de fenil-propanoides (Metabolitos secundarios), (Mahalingam & Zaidi, 2024). En el factor tueste (Tabla 20), el perfil B1 (tueste claro), exhibe la mayor absorbancia de flavonoides (0.59), seguido por B2 (Tueste medio) (0,49) y finalmente B3 (Tueste oscuro) (0.31), siendo este último el de menor contenido y estadísticamente distinto. Este comportamiento es congruente con otros estudios en café, donde se describe que los tuestes claros conservan mejor los compuestos fenólicos y flavonoides, mientras que los tuestes medios y, sobre todo, los oscuros favorecen reacciones de degradación térmica (hidrólisis, oxidación y pirolisis), y su participación en reacciones de Maillard, lo que reduce la fracción de flavonoides libres cuantificables por métodos espectrofotométricos según Mahalingam & Zaidi, (2024). Así, los datos de esta investigación refuerzan la tendencia descrita por diversos autores: las

variedades con mayor potencial fenólico inicial y los niveles de tueste menos severos (como B1 tueste claro) son los que optimizan el contenido de flavonoides en el producto final, mientras que tuestes más intensos (B3) (Tueste oscuro) sacrifican parte de la capacidad antioxidante en favor de atributos sensoriales como color y sabor tostado.

Figura 7. Comparación de medias de absorbancia para flavonoides según el grado de tueste



C= Tueste claro; B= Tueste medio; A= Tueste oscuro

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

La figura 7 presenta la comparación de medias de absorbancia para flavonoides en función del nivel de tueste, junto con los intervalos de confianza al 95% y la prueba de Tukey HSD. Se observa una disminución significativa de la absorbancia conforme aumenta el grado de tueste. El tueste 1 muestra la mayor absorbancia, seguido del tueste medio, mientras que el tueste oscuro presenta el valor más bajo. Las letras distintas (C, B y A) indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre todos los niveles de tueste ($p < 0.05$), confirmando que el tiempo o la severidad del tueste tiene un efecto significativo sobre la absorbancia asociada a los flavonoides. Esta tendencia sugiere que los flavonoides son altamente sensibles al tratamiento térmico, sufriendo degradación, oxidación y pérdida de grupos cromóforos responsables de la absorción de radiación.

Además, la reacción de Maillard puede favorecer la transformación o incorporación de flavonoides en matrices poliméricas como las melanoidinas, reduciendo su disponibilidad y respuesta espectrofotométrica (Mihai *et al.*, 2024).

Contenido de Flavonoides

Tabla 21: ANOVA Tratamientos multifactorial del contenido de flavonoides

FV	SC	gl	CM	F-Calculada	p-valor
Factor A	0.0269488	3	0.00898293	8.85	*
Factor B	0.479488	2	0.239744	236.31	*
Interacción A×B	0.160252	6	0.027086	26.33	*
Error	0.024349	24	0.00101454		

Factor A=Varietales; Factor B= Tueste; Interacción A x B= Varietales x Tueste; * = significativo al 0.05%
Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

De acuerdo con los datos procesados en la tabla 21 los factores varietales (A) grado de tueste (B) y su interacción A×B presentan una significancia estadística clara marcando con un nivel de probabilidad crítica, la variabilidad observada en la concentración de flavonoides demuestra que estos metabolitos son altamente sensibles tanto a la genética del grano como a condiciones de tiempo y temperatura empleadas.

Al evaluar la magnitud de la F- calculada se observa que el factor B (tueste) ejerce el control predominante con un valor de 236.31 lo que confirma que el tratamiento térmico es el principal responsable de la alteración de estos compuestos por otro lado la relevancia del factor A (8.85) y la interacción A×B (26.33) pone de manifiesto que cada varietal de café posee una respuesta química particular frente al calor lo que indica que la degradación sea uniforme en todos los tratamientos evaluados.

Está marcada influencia de tueste sobre la estabilidad de los flavonoides guarda coherencia con lo señalado por Díaz *et al.*, 2018 quien indica que el proceso de tueste genera cambios químicos irreversibles donde, donde los compuestos fenólicos originales se degradan para dar paso a las nuevas estructuras la significancia detectada en la interacción sugiere que la arquitectura celular y la composición inicial de cada varietal juegan un rol protector o facilitador en la reducción de estos metabolitos confirmando que el perfil de flavonoide final es el resultado de la interacción directa entre la materia prima y la severidad del calor.

Factor A

Tabla 22. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de los flavonoides por varietales

Varietales	Flavonoides (mg QE/g)	Rangos
N2	0.43	A
E3	0.46	B
M4	0.47	C
C1	0.50	

C1=conilón, N2= napopayamino, E3=ecurobusta, M4= mix

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

Factor B

Tabla 23. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de los flavonoides por tueste

Varietales	Flavonoides (mg QE/g)	Rangos
B3	0.31	A
B2	0.49	B
B1	0.59	C

B1= claro, B2=medio, B3= oscuro,

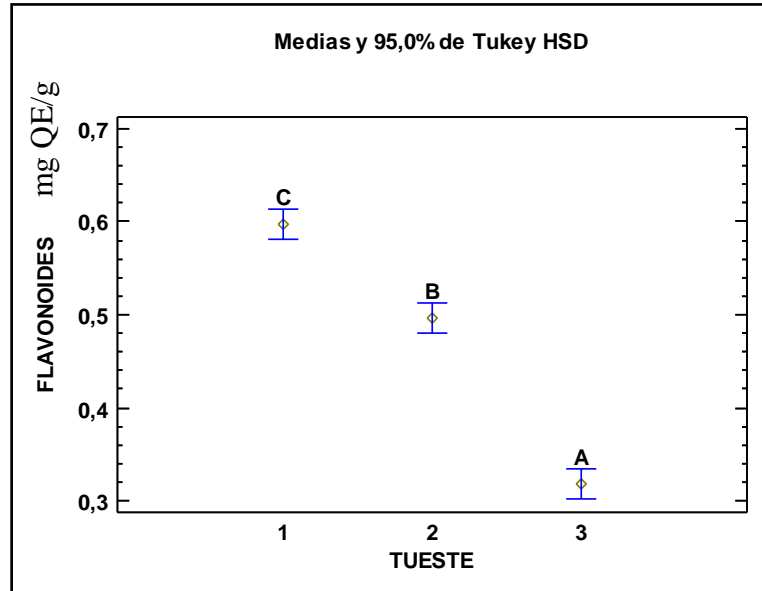
Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

En café arábica de Ecuador (Mihai *et al.*, 2024) reporta para el fruto contenidos de flavonoides totales entre 0.076 y 0.442 mg QE/g según la provincia: el valor más alto se observó en Cotopaxi (0.442 mg QE/g) y el más bajo en Loja (0,076 mg QE/g). nuestros datos obtenidos de las varietales T4 (Napo) (0,43), T7 (Ecu) (0,46), T10 (Mix) (0,47) y T1 (Conilon) (0.50 mg QE/g) se sitúan en la parte alta o incluso por encima del rango encontrado por estos autores, especialmente T1 (0.50 mg QE/g), que supera el valor máximo de 0.442 mg QE/g descrito para Cotopaxi (Mihai *et al.*, 2024).. Esto sugiere que, en términos varietales, tu material de estudio presenta un contenido de flavonoides competitivo o incluso superior al de algunos cafés arábica de altura reportados recientemente en Ecuador.

Otros trabajos confirman que los valores de TFC en frutos o cáscaras de *C. arabica* suelen estar en el orden de 0,3–0,8 mg QE/g, dependiendo de la región y de la parte del fruto (pulpa, cáscara, grano) (Ngibad *et al.*, 2023). Frente a esos rangos, nuestros resultados (0.43–0.50 mg QE/g por varietal y 0.31–0.59 mg QE/g por tueste) encajan claramente dentro del intervalo reportado, con la particularidad de que tu tratamiento B1 (0.59 mg QE/g) se acerca al extremo superior de dichos valores, mientras que B3 (tueste oscuro)(0.31 mg QE/g) se ubica en el límite inferior, similar a los valores mínimos observados en frutos de *C. canephora* o en algunas provincias de arábica con baja acumulación de flavonoides (Ngibad *et al.*, 2023). En conjunto, esto indica que, aunque el tueste más intenso reduce los flavonoides, incluso el nivel más bajo (0,31 mg QE/g) sigue dentro de los rangos encontrados por otros autores, mientras que los valores más

altos (T1 Conilon B1 claro) reflejan un buen contenido de flavonoides comparable o superior al de cafés arábica.

Figura 8. Comparación de medias en concentración de flavonoides según el grado de tueste



C= Tueste claro; B= Tueste medio; C= Tueste oscuro

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

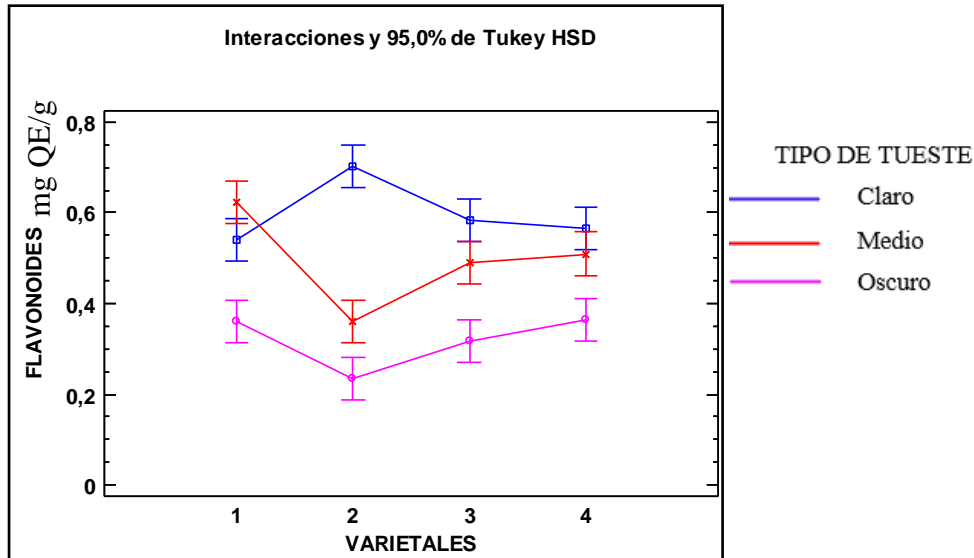
La figura 8 muestra la interacción entre el tipo varietal y el nivel de tueste sobre el contenido de flavonoides, expresado como absorbancia, junto con los intervalos de confianza al 95% y la prueba de comparación múltiple de Tukey HSD. Los resultados evidencian que tanto el varietal como el grado de tueste, así como su interacción, influyen de manera estadísticamente significativa en la respuesta de los flavonoides.

El tueste claro presenta los valores más altos de absorbancia de flavonoides en todos los varietales evaluados, mientras que el tueste oscuro muestra los valores más bajos, lo que confirma la alta sensibilidad térmica de estos compuestos frente a procesos de tostado más intensos. No obstante, la magnitud de la disminución del contenido de flavonoides varía entre varietales, lo que pone en evidencia una respuesta diferencial al proceso de tueste.

Destaca el varietal Conilon, el cual presenta la mayor caída de absorbancia al pasar del tueste claro al tueste oscuro, lo que sugiere una menor estabilidad térmica de sus flavonoides o una mayor susceptibilidad a fenómenos de oxidación, degradación y transformación durante el desarrollo de la reacción de Maillard. En contraste, los varietales Ecu y Mix muestran una respuesta más gradual, con una ligera recuperación de la absorbancia en el tueste intermedio, comportamiento que podría estar asociado a diferencias en la composición inicial de

flavonoides, así como a su interacción con compuestos formados durante el tostado, incluidos productos intermedios de Maillard con capacidad antioxidante (Ngibad *et al.*, 2023).

Figura 9: Interacción de concentración de flavonoides entre varietales y tueste



1= Napopayamino; 2= Conilon; 3= Ecuobusta; 4= Mix Robusta

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

La figura 9 muestra la interacción entre el tipo varietal y el nivel de tueste sobre el contenido de flavonoides, expresado como absorbancia, junto con los intervalos de confianza al 95% y la prueba de Tukey HSD. Los resultados indican que tanto el varietal como el grado de tueste, así como su interacción, influyen significativamente en la respuesta de los flavonoides. El tueste claro presenta los valores más altos de absorbancia de flavonoides en todos los varietales, mientras que el tueste oscuro muestra los valores más bajos, confirmando la alta sensibilidad térmica de estos compuestos. Sin embargo, la magnitud de la disminución varía según el varietal, lo que evidencia una respuesta diferencial al proceso de tueste.

Destaca la varietal Conilon, que presenta la mayor caída de absorbancia al pasar del tueste claro al tueste oscuro, lo que sugiere una menor estabilidad térmica de sus flavonoides o una mayor susceptibilidad a procesos de oxidación y transformación durante la reacción de Maillard. En contraste, los varietales Ecu y Mix muestran una respuesta más gradual, con una ligera recuperación de la absorbancia en el tueste intermedio, posiblemente asociada a diferencias en la composición inicial de flavonoides o a su interacción con productos de Maillard (Ngibad *et al.*, 2023).

11.3 Cuantificación de antioxidantes en relación a la absorbancia

En la tabla 24 se presentan los valores de actividad antioxidante expresados en μmol equivalentes de Trolox por gramo y sus respectivas absorbancias para los 12 tratamientos y los 7 testigos en estudio. El análisis estadístico determinó diferencias altamente significativas ($p < 0.0000$) demostrando que el origen del grano y el proceso del tostado modifican drásticamente la capacidad del café para captar radicales libre

Tabla 24: Contenido de Antioxidantes y Absorbancia.

Tratamiento	Varietal +Tuestes	Antioxidantes (μmol Trolox E/g)	Absorbancia
T01	Testigo Comercial claro	0.311 ^a	0.347 ^h
T02	Testigo Comercial medio	0.551 ^a	0.223 ^{cd}
T03	Testigo Comercial oscuro	0.324 ^a	0.406 ⁱ
T04	Testigo Verde	3.532 ^c	0.278 ^{ef}
T05	Testigo Verde	3.099 ^{bc}	0.288 ^{efg}
T06	Testigo Verde	2.057 ^b	0.297 ^{efg}
T07	Testigo Verde	2.488 ^{bc}	0.275 ^{ef}
T1	Conilon claro	42.53 ^{fg}	0.216 ^{bcd}
T2	Conilon medio	41.9 ^f	0.23 ^d
T3	Conilon oscuro	39.76 ^e	0.278 ^{ef}
T4	Napopayamino claro	43.36 ^{gh}	0.198 ^{abc}
T5	Napopayamino medio	38.37 ^d	0.306 ^g
T6	Napopayamino oscuro	38.54 ^d	0.302 ^{fg}
T7	Ecurobusta claro	43.67 ^h	0.191 ^{ab}
T8	Ecurobusta claro	40.003 ^e	0.271 ^e
T9	Ecurobusta oscuro	39.377 ^{de}	0.284 ^{efg}
T10	Mix Robusta claro	43.886 ^h	0.187 ^a
T11	Mix Robusta medio	41.99 ^f	0.288 ^d
T12	Mix Robusta oscuro	38.59 ^d	0.301 ^{fg}
EE\pm		0.020	0.005
P		0.0000	0.0000

Letras desiguales en una misma columna difieren significativamente para $P < 0,05$. EE = Error Estándar; μmol Trolox E/g = micromoles de equivalentes de Trolox por gramo de muestra (capacidad antioxidante).

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

De acuerdo con los datos obtenidos las concentraciones más elevadas de actividad antioxidante se registraron en los tratamientos experimentales con tuestes claros destacando el T10 (Mix robusta claro) con 43.8867 μmol TE/g, el T07 (café verde sin tostar) con 2.48896 μmol TE/g y el T4 (Napopayamino claro) con 43.36 μmol TE/g, los cuales se posicionaron en los rangos estadísticos superiores (h), por el contrario los valores más bajos se registraron en T01, T02 y T03 (testigos comerciales) con valores ínfimos que oscilan entre 0.311 y 0.324 μmol TE/g

situándose en el rango(a), este contrastes revela que las variedades experimentales bajo estudio poseen un potencial funcional superior a las marcas comerciales evaluadas.

Esta superioridad analítica de los tratamientos experimentales se fundamenta en la formación de compuestos derivados de la reacción de Maillard durante el tueste, al respecto Díaz *et al.*, 2018 sostiene que, aunque el calor degrada los antioxidantes naturales como los ácidos clorogénicos se generan simultáneamente melanoidinas que poseen una alta capacidad antioxidante lo cual compensa, y en caso de tueste controlado incrementa la actividad biológica final.

Al analizar la relación con la absorbancia se observa que los tratamientos con mayor actividad antioxidante presentan curiosamente las absorbancias más bajas cercanas a 0.28 $\mu\text{mol TE/g}$ mientras que los comerciales presentan absorbancias más altas, según Pérez-Hernández, 2013 las actividades antioxidantes no dependen únicamente de la cantidad total de fenoles sino de la estructura específica de las melanoidinas formadas, las cuales varían según las especies (*C. arabica* o *C. canephora*) y la intensidad del calor.

Este incremento en la capacidad antioxidante de los tuestes claros frente a los verdes se explica a través de la formación de melanoidinas, al respecto Díaz *et al.*, (2018) sostiene que durante el tueste la reacción de Maillard genera nuevos compuestos que no solo compensan la pérdida de fenoles, sino que pueden elevar la capacidad de radicales libres. No obstante, este beneficio es sensible al origen como lo indica Pérez-Hernández, (2013) la eficiencia antioxidante varía significativamente entre especies y métodos de procesamiento.

Finalmente al integrar los resultados de polifenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante se observa un comportamiento bioquímico complejo inducido por el procesamiento térmico, existe una diferencia marcada en las magnitudes registradas mientras que los polifenoles se mantienen en rangos intermedios y los flavonoides muestran una degradación casi total en los tratamientos bajo un tiempo determinado de tueste la actividad antioxidante experimenta un incremento drástico en las muestras experimentales superando incluso a los testigos verdes.

Esta aparente contradicción donde la actividad antioxidante incrementan a pesar de la pérdida de flavonoides se explica por la transformación de los compuestos durante el tostado, de acuerdo con Portillo, (2022), donde indica que los flavonoides son la estructura más termolábil lo que justifica que en esta investigación haya descendido a valores inferiores a 1 mg QE/g. como sostiene Pacheco *et al.*, (2020), el calor inhibe estos metabolitos originales antes de que

puedan estabilizarse. Sin embargo, esta degradación no significa una pérdida de la funcionalidad de la bebida.

El incremento de la actividad antioxidante en los tratamientos experimentales alcanzando los 43.88 $\mu\text{mol TE/g}$ se debe a la reacción de Maillard, Díaz *et al.*, 2018 explica que si bien el tueste elimina polifenoles y flavonoides naturales genera simultáneamente melanoidinas. Estos nuevos polímeros poseen una capacidad antioxidante superior que compensa la pérdida de los compuestos fenólicos iniciales. Este fenómeno ratifica lo expuesto por Pérez-Hernández, (2013) quienes indican que la actividad antioxidante total no depende únicamente de los fenoles remanentes sino de la eficiencia de los nuevos compuestos formados bajo calor controlado

Tabla 25: ANOVA de Tratamientos Multifactorial de las Absorbancias

FV	SC	GI	CM	F-Calculada	p-valor ($p < 0.05\%$)
Factor A	0.00514344	3	0.00171448	19.13	*
Factor B	0.053462	2	0.026731	298.21	*
Interacción A×B	0.0104202	6	0.0017367	19.37	*
Error	0.00215133	24	0.0000896389		

Factor A=Varietales; Factor B= Tueste; Interacción A x B= Varietales x Tueste; * = significativo al 0.05%

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

Los datos recolectados en la tabla 25 se determina que existe una significancia estadística de carácter muy alto ($p < 0.05$) para varietales (A) grado de tueste (B) y su interacción de ambos A×B, estos resultados prueban que la capacidad de respuesta antioxidante de la muestra no es un evento aleatorio, sino que está estrechamente ligada a la combinación de la genética del grano y el impacto térmico recibido.

El análisis de la f calculada permite identificar que el factor B (tueste), posee la influencia más drástica sobre la absorbancia alcanzando un valor de 298.21 esto denota que el proceso de tueste es el agente determinante en la modificación de las actividad biológica de igual manera la significancia del factor A (19.13), y la interacción A×B 19.37 revela que cada varietal presenta una cinética de transformación única lo que genera diferencias medibles en la eficacia de cada tratamiento para neutralizar radicales libres.

Esa notable relevancia del tueste y la interacción de factores se alinea con la investigación de Portillo, (2022), quien explica que el potencial antioxidante del café experimenta una reconfiguración química durante la exposición al calor según el autor mientras algunos compuestos fenólicos desaparecen el tueste pues noticia la síntesis de nuevos agentes con

capacidad de reductora cuya cantidad de calidad depende directamente del tipo de grano procesado

Factor A

Tabla 26. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de la absorbancia de antioxidante por variedades

Varietales	Absorbancia	Rangos
M4	0.23	A
C1	0.24	
E3	0.24	
N2	0.26	B

C1=conilón, N2= napopayamino, E3=ecurobusta, M4= mix

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

Factor B

Tabla 27. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de los Antioxidante por tueste

Varietales	Absorbancia	Rangos
B1	0.19	A
B2	0.25	B
B3	0.29	C

B1= claro, B2=medio, B3= oscuro,

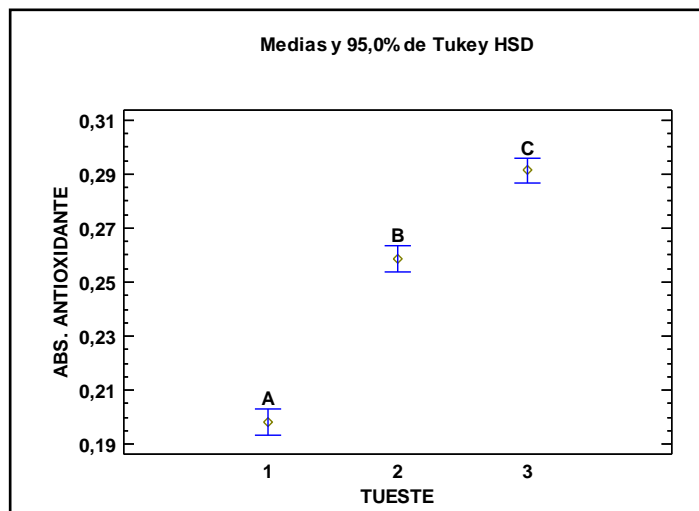
Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

Los valores de absorbancia antioxidante por varietal son: T10 (Mix) (0.23), T1 (Conilon) (0.24), T7 (Ecu) (0,24) y T4 (Napo) (0,26). Según la prueba de Tukey al 0,5 %, solo T4 forma un grupo estadístico distinto (rango B), mientras que T10 (Mix), T1 (Conilon) y E3 (Ecu) comparten el rango A. Esto indica que, aunque las diferencias absolutas son pequeñas (0.23–0.26), la variedad T4 (Napo) presenta una capacidad antioxidante significativamente mayor que las otras, probablemente asociada a un mayor contenido o mejor estabilidad de compuestos fenólicos y productos de Maillard. En estudios con variedades de Coffe arabica (Catimor, Caturra, Bourbon), también se han encontrado diferencias significativas de actividad antioxidante entre genotipos durante el tueste, aun cuando los valores de absorbancia o capacidad (DPPH/ABTS) son cercanos numéricamente (Mestanza *et al.*, 2023). De manera semejante, evaluaciones de cafés comerciales muestran un rango muy amplio de capacidad antioxidante (por ejemplo 164–1000 μmol Trolox/g en ABTS), donde las diferencias entre marcas y tipos de café se atribuyen precisamente a variaciones de composición fenólica y grado de pardeamiento no enzimático (Mestanza *et al.*, 2023). Tus resultados encajan con esta idea: T4 (Napo) se comporta como el varietal con mejor respuesta antioxidante dentro de un rango relativamente estrecho.

Para el Factor B, la absorbancia aumenta claramente con el grado de tueste: B1 (Tueste claro) = 0,19 (grupo A), B2 (Tueste medio) = 0.25 (grupo B) y B3 (Tueste oscuro) = 0.29 (grupo C).

Cada nivel de tueste es estadísticamente diferente, lo que muestra que el tueste incrementa progresivamente la capacidad antioxidante medida por absorbancia en las condiciones de tu ensayo. Este patrón coincide con trabajos donde los cafés tostados ligeros o medios presentan mayor capacidad antioxidante que el verde, y donde un aumento moderado del tueste favorece la formación de productos de Maillard con alta actividad antioxidante, alcanzando máximos en tuestes intermedios o medios-oscuros antes de declinar con tuestes extremadamente intensos (Mestanza *et al.*, 2023). En estudios cinéticos de tueste de cafés arábica, la actividad antioxidante (DPPH/ABTS) aumenta hasta ciertos minutos de tueste (alrededor de 5 min), y luego comienza a disminuir al prolongar el calentamiento (Schouten *et al.*, 2021). Los tres niveles B1–B3 parecen ubicarse en la fase creciente de esa curva, donde predomina la formación de antioxidantes respecto a su degradación. Así, los datos confirman que, dentro del rango de tuestes evaluados, un tueste más intenso se asocia con mayor absorbancia antioxidante, en concordancia con los incrementos de capacidad antirradical reportados para cafés tostados frente a verdes o poco tostados (Schouten *et al.*, 2021)

Figura 10. Comparación de medias de absorbancia para antioxidantes según el grado de tueste



C= Tueste claro; B= Tueste medio; A= Tueste oscuro

Elaborado por: Villalva & Vargas (2026).

La Figura 10 presenta la comparación de medias de la absorbancia para antioxidantes en función del grado de tueste, junto con los intervalos de confianza al 95 % y la prueba de Tukey HSD. Los resultados evidencian que el nivel de tueste influye de manera estadísticamente significativa ($p < 0,05$) sobre la capacidad antioxidante, expresada como absorbancia.

El tueste claro presenta la menor media de absorbancia antioxidante, ubicándose en el grupo A, lo que indica una capacidad antioxidante relativamente baja en condiciones de tueste ligero. El tueste medio muestra un incremento significativo de la absorbancia, perteneciendo al grupo B,

mientras que el tueste oscuro alcanza la mayor media de absorbancia antioxidante, clasificándose en el grupo C.

Las letras distintas (A, B y C) indican que existen diferencias estadísticas significativas entre todos los grados de tueste evaluados, confirmando que cada nivel de tueste genera una respuesta antioxidante diferenciada. El aumento progresivo de la absorbancia con el incremento del grado de tueste sugiere que procesos térmicos más intensos favorecen la formación de compuestos con actividad antioxidante, posiblemente asociados a productos finales de la reacción de Maillard, los cuales compensan o superan la degradación de antioxidantes naturales termolábiles (Schouten *et al.*, 2021).

Tabla 28: ANOVA de tratamientos multifactorial de cuantificación de Antioxidantes

FV	SC	gl	CM	F-Calculada	p-valor (p<0.05%)
Factor A	11.0221	3	3.67404	19.23	*
Factor B	114.083	2	57.04417	298.63	*
Interacción A×B	22.242	6	3.70701	19.41	*
Error	4.5842	24	0.191008		

Factor A=Varietales; Factor B= Tueste; Interacción A x B= Varietales x Tueste; * = significativo al 0.05%

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

En la tabla 28 confirma que los factores A (varietales), B (tueste) B y su correspondiente interacción A×B pues en una significancia estadística determinada este escenario demuestra que la concentración final de antioxidantes en las muestras no es una coincidencia técnica sino el producto directo de la sinergia entre la genética de café y el tiempo del tratamiento térmico aplicado.

Al desglosar la F-calculada destaca de forma contundente el factor B (tueste) con un valor de 298.63 consolidándose como la fuerza principal que gobierna la actividad intrigante por otro lado la significancia registrada en el factor A (19.23) y en la interacción A×B (19.41) indica que cada variedad responde con una intensidad particular al proceso de tostación lo que genera perfiles de beneficio funcional diferenciados entre los tratamientos.

Esta estrecha dependencia entre el tueste y la capacidad antioxidante valida lo propuesto por Pacheco *et al.*, 2020 quien sostiene que la variabilidad fisicoquímica del café alcanza su punto crítico durante la tostación según el autor este proceso no sólo degrada a ciertos componentes sino que activa mecanismos de transformación química que puede potenciar la actividad biológica del grado dependiendo de su composición inicial la significancia estadística hallada

en este ANOVA ratifica que el control de la temperatura es la herramienta clave para optimizar la calidad nutracéutico de cada variedad específica.

Factor A

Tabla 29. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de los antioxidantes por varietales

Varietales	Antioxidantes ($\mu\text{mol Trolox E/g}$)	Rangos
N2	40.09	A
E3	41.01	B
C1	41.39	
M4	41.48	

C1=conilón, N2= napopayamino, E3=ecurobusta, M4= mix

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

Factor B

Tabla 30. Prueba de tukey al 0,5% de significancia de los antioxidantes por tueste

Varietales	Antioxidantes ($\mu\text{mol Trolox E/g}$)	Rangos
B3	39.06	A
B2	40.56	B
B1	43.36	C

B1= claro, B2=medio, B3= oscuro,

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

Los datos obtenidos de las varietales, T2 (Napo) presenta 40,09 $\mu\text{mol TE/g}$ (grupo A), mientras que T7 (Ecu) (41.01), T1 (Conilon) (41.39) y T10 (Mix) (41.48 $\mu\text{mol TE/g}$) forman grupos estadísticamente superiores (rango B). Aunque las diferencias absolutas son pequeñas (1.4 $\mu\text{mol TE/g}$ entre el mínimo y el máximo), la prueba de Tukey indica que E3 (Ecu), T1 (Conilon) y T10 (Mix) tienen una capacidad antioxidante significativamente mayor que N2 (Napo).

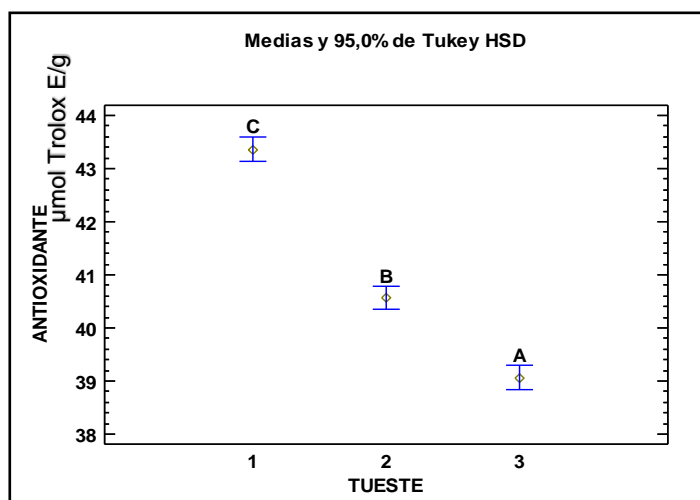
En cafés arábica ecuatorianos, Mihai *et al.* reportan capacidades antioxidantes en frutos maduros de alrededor de 23,18 $\mu\text{mol TEAC/g}$ (ABTS) y 65,88 $\mu\text{mol TEAC/g}$ (DPPH), según la provincia (Mihai *et al.*, 2024). nuestros valores (40–41.5 $\mu\text{mol TE/g}$) se ubican en un rango intermedio entre esas dos pruebas clásicas, lo que concuerda con que tu extracción y método generen valores comparables a TEAC de DPPH, pero algo superiores a los de ABTS reportados en frutos enteros (Mihai *et al.*, 2024). Estudios de cafés comerciales también muestran amplitudes muy grandes, con valores entre 164 y 1000 $\mu\text{mol Trolox/g}$ según tipo de producto (Mihai *et al.*, 2024), por lo que tu rango varietal es consistente con un café de buena capacidad antioxidante, pero sin llegar a los extremos máximos observados en cafés solubles muy concentrados.

Para el Factor B, tus resultados muestran un gradiente claro: B3 Tueste oscuro = 39.06 (grupo A), B2 Tueste medio = 40.56 (grupo B) y B1 Tueste claro = 43.36 $\mu\text{mol TE/g}$ (grupo C). Cada

nivel de tueste es estadísticamente distinto, y el tueste B1 presenta la mayor capacidad antioxidante.

En cafés de Vietnam, los TEAC (DPPH/ABTS/FRAP) suelen seguir los niveles de tostado claro > medio > oscuro, debido al equilibrio entre degradación de clorogénicos y formación de productos de Maillard (Acidri *et al.*, 2020). De forma similar, en cafés arábica tostados a distintos grados, se han observado incrementos de la capacidad antioxidante de hasta 35 al 70% tras un tueste moderado respecto al grano verde, con descensos posteriores en tuestes muy intensos (Acidri *et al.*, 2020). nuestros datos B3 (Tueste oscuro)–B1 (Tueste claro) parecen situarse precisamente en la zona creciente de esa curva, donde el aumento del tueste favorece la formación de compuestos antioxidantes sin que la degradación supere aún la generación. Numéricamente, tus 39–43 $\mu\text{mol TE/g}$ son coherentes con valores medios-altos de TEAC por gramo de café, inferiores a los máximos de cafés solubles (hasta 800–900 $\mu\text{mol/g}$), pero comparables a bebidas o extractos de café molido evaluados por ABTS/DPPH (Acidri *et al.*, 2020).

Figura 11: Comparación de medias en concentración de antioxidantes según el grado de tueste



C= Tueste claro; B= Tueste medio; A= Tueste oscuro

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

La Figura 11 muestra la comparación de medias de la capacidad antioxidante en función del grado de tueste, considerando los intervalos de confianza al 95% y la prueba de Tukey HSD. Los resultados evidencian que el grado de tueste influye de manera estadísticamente significativa ($p < 0,05$) sobre la capacidad antioxidante.

El tueste claro presenta la mayor media de actividad antioxidante, ubicándose en el grupo C, lo que indica una capacidad antioxidante significativamente superior en comparación con los demás grados de tueste. Este comportamiento sugiere que condiciones de tueste más ligero

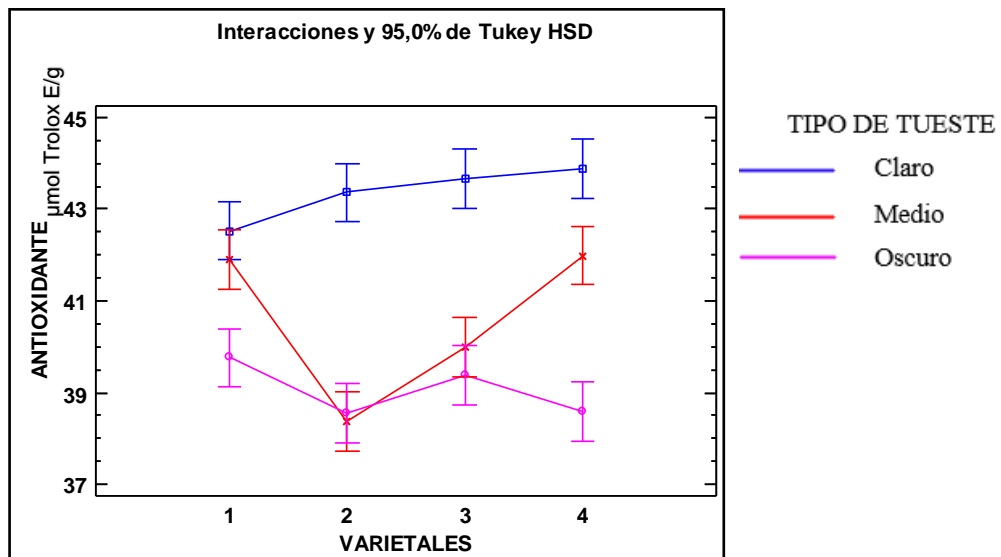
favorecen la conservación de compuestos antioxidantes naturales, como los polifenoles y otros metabolitos bioactivos termolábiles (Acidri *et al.*, 2020)..

El tueste medio muestra una media intermedia, clasificándose en el grupo B, con valores significativamente menores que el tueste claro, pero superiores al tueste oscuro. Esto indica que el incremento de la temperatura y el tiempo de tueste provoca una reducción parcial de la capacidad antioxidante, asociada a la degradación progresiva de compuestos fenólicos.

Por su parte, el tueste oscuro registra la menor media de capacidad antioxidante, perteneciendo al grupo A, lo que refleja una disminución significativa respecto a los otros niveles de tueste. Este resultado sugiere que procesos térmicos más intensos conducen a una mayor degradación de antioxidantes naturales, la cual no es completamente compensada por la formación de nuevos compuestos antioxidantes derivados de la reacción de Maillard.

Las letras distintas (A, B y C) indican la existencia de diferencias estadística significativas entre todos los grados de tueste evaluados, confirmando que cada nivel de tueste genera una respuesta antioxidante diferenciada. En conjunto, los resultados demuestran que el aumento del grado de tueste se asocia con una disminución progresiva de la capacidad antioxidante del café (Acidri *et al.*, 2020).

Figura 12. Interacción de las concentraciones de antioxidantes entre variedades y tueste



1= Napopayamino; 2= Conilon; 3= Ecuobusta; 4= Mix Robusta

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

La Figura 12 presenta la interacción de la capacidad antioxidante entre las distintas variedades de café y los grados de tueste, considerando las medias, los intervalos de confianza al 95 % y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD. Los resultados evidencian que la capacidad antioxidante no depende únicamente del grado de tueste o de la variedad por

separado, sino de la combinación entre ambos factores, lo que indica una interacción estadísticamente relevante ($p < 0,05$).

El tueste claro muestra las mayores medias de actividad antioxidante en la mayoría de las variedades evaluadas, destacándose una tendencia ascendente conforme avanza la numeración varietal, lo que sugiere una respuesta favorable de ciertas variedades frente a condiciones de tueste más ligero. Por el contrario, el tueste medio presenta una disminución marcada de la actividad antioxidante, especialmente en la variedad Conilon, evidenciando una mayor sensibilidad de esta combinación a la degradación de compuestos antioxidantes.

El tueste oscuro muestra un comportamiento intermedio y variable según la variedad, con valores antioxidantes menores respecto al tueste claro, pero en algunos casos superiores al tueste medio, lo que refleja que la respuesta antioxidante depende directamente de la matriz química propia de cada variedad. Estas diferencias se encuentran respaldadas por la separación de medias según la prueba de Tukey, donde combinaciones con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Acidri *et al.*, 2020).

El patrón observado sugiere que los procesos térmicos asociados al tueste influyen de manera diferenciada en cada variedad, posiblemente debido a la formación de compuestos antioxidantes derivados de la reacción de Maillard, así como a la degradación de compuestos fenólicos termolábiles, cuyo balance varía según el perfil químico inicial del grano. En consecuencia, la interacción variedad tueste desempeña un papel clave en la determinación final de la capacidad antioxidante del café (Acidri *et al.*, 2020).

11.5 Análisis costo/beneficio

El análisis costo beneficio (ACB) es una herramienta económica que compara sistemáticamente todos los costos y beneficios de una intervención, expresándolos en términos monetarios, para determinar si genera un beneficio neto positivo para la sociedad o la organización. En un ACB completo se valoran costos y beneficios directos (inversión, operación, ahorros), indirectos (impactos ambientales, cambios en productividad) e incluso intangibles (calidad de vida, salud, bienestar) mediante técnicas como precios sombra, preferencias reveladas o métodos de disposición a pagar. El resultado suele resumirse como beneficio neto (beneficios menos costos) o como relación beneficio–costo (beneficios/costos); si el beneficio neto es positivo o la relación es mayor que 1, el proyecto o política se considera “socialmente rentable” o eficiente en términos económicos. Para comparar alternativas, el ACB descuenta flujos futuros (tasa

social de descuento) y analiza la incertidumbre con sensibilidad o simulaciones probabilísticas, lo que ayuda a priorizar proyectos cuando los recursos son limitados .

Tabla 31. Gastos generados en la investigación (desglose por rubros).

Tratamientos	Mano de Obra (\$)	Materia Prima (Café) (\$)	Reactivos Químicos (\$)	Transporte (\$)	Etiquetas y Empaques (\$)	Costo Total (\$)
T01	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T02	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T03	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T04	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T05	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T06	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T07	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T1	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T2	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T3	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T4	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T5	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T6	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T7	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T8	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T9	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T10	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T11	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
T12	3.66	7.50	32.33	2.11	0.03	45.63
TOTAL	69.50	142.50	614.33	40.00	0.57	866.97

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

En la tabla 31 que detalla los gastos generales de la investigación por tratamiento. Para evaluar económicamente la utilización de las cuatro variedades de café robusta (Conilon, Napopayamino, Ecurobusta y Mix) bajo diferentes niveles de tueste y el tratamiento de café verde, se calcularon los costos de producción del ensayo partiendo de una base de 100 lb de café cereza por cada variedad. Cada lote fue fraccionado en muestras de 25 lb por tratamiento, razón por la cual se determinaron los siguientes valores, mano de obra, materia prima(café), reactivos químicos, transporte, etiqueta y empaque sumando un valor total de \$866.97 como se muestra.

Tabla 32. Ingresos generales y Rentabilidad

Tratamientos	Rendimiento aprox. (Bolsas 250g)	Precio de Venta Unitario (\$/u)	Ingreso Total (\$)
T01	24	3.50	84.00
T02	24	5.81	139.44
T03	24	5.00	120.00
T04	24	4.00	96.00
T05	24	4.00	96.00
T06	24	4.00	96.00
T07	24	4.00	96.00
T1	24	6.00	144.00
T2	24	6.00	144.00
T3	24	6.00	144.00
T4	24	6.00	144.00
T5	24	6.00	144.00
T6	24	6.00	144.00
T7	24	6.00	144.00
T8	24	6.00	144.00
T9	24	6.00	144.00
T10	24	6.00	144.00
T11	24	6.00	144.00
T12	24	6.00	144.00
TOTAL	456		2,453.44

Elaborado por: Vargas & Villalva (2026).

En la tabla 32 se puede evidenciar el total de los ingresos generados en la ejecución del proyecto investigativo, la cuantificación de las ganancias se analizó mediante la comercialización de las fundas de café de 250g , después de haber socializado los beneficios fitoquímicos y organolépticos que brindan las variedades evaluada el producto procesado se comercializo en un valor de \$4.00 para el café verde y un promedio estadístico de 4.77 para los testigos comerciales y \$6.00 para los cafés tostados experimentales obtenidos ingresos totales de \$2,453.44 (MAGAP, 2025).

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costos}} = \frac{2,453.44}{866.97} = 2.83$$

Al obtener una relación beneficio/costo (B/C) de 2,83 (>1) y concluir que el proyecto es rentable porque por cada dólar invertido en el procesamiento de café robusta se recupera el capital y se gana 1,83 dólares, en otros estudios de café: cuando B/C > 1 el proyecto se considera financieramente viable. Por ejemplo, en un negocio de procesamiento de café en Bali se reporta un Net B/C de 2,85 y se concluye que la unidad es claramente factible y atractiva para la inversión (Gunawitra *et al.*, 2024). El mejoramiento de café robusta inferior mediante fermentación con kéfir muestra un B/C de 3,08, NPV positivo e IRR (Cao Thi, 2025) muy alta, lo que también se interpreta como un negocio “muy viable” y con alta rentabilidad. Análisis de la cadena de valor del robusta en Tshopo, así como de diferentes eslabones y modelos de

procesamiento, encuentran valores de B/C y R/C mayores que 1 y señalan que la actividad cafetalera genera valor agregado, resultados de explotación positivos y es rentable para todos los agentes involucrados (Fudjaja *et al.*, 2023).

12. IMPACTO (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS)

12.1 Impactos técnicos

El impacto técnico principal radica en la transformación de un modelo de tostado empírico a uno de precisión científica. La investigación permite estandarizar las curvas de tueste, no sólo color o tiempo, si no, mediante la trazabilidad de los compuestos *in vivo* activos, que se degrada con el calor. Al establecer esta metodología, se logra un control riguroso sobre la composición química del grano, garantizando que el procesamiento industrial conserve las propiedades saludables que normalmente se pierden en tuestes no controlados. Esta profesionaliza la etapa de postcosecha, asegurando un producto final con un perfil de calidad superior y técnicamente validado.

Social: El impacto social de esta investigación es relevante, ya que mejora la transferencia de conocimiento hacia el sector caficultor. Al instrumentar tecnologías que controlan las propiedades químicas del grano, se fortalece la relación técnica-agricultor en zonas como el cantón la Maná. Esto permite que la comunidad local siempre se empodere mediante el uso de estándares científicos, mejorando la competitividad de los productores y fomentando el desarrollo de capacidades técnicas en la región.

Ambientales: Desde el punto de vista ambiental la propuesta busca optimizar la eficiencia de los procesos de transformación. Al terminar los tiempos de tueste óptimos, se promueve uso más eficiente de la energía en los equipos de tostación, evitando procesos prolongados innecesarios y reduciendo el desperdicio de materia prima por sobre tueste. Esto contribuye a un modelo de producción más sostenible dentro de las microempresas locales, alineando el procedimiento del café con mejores prácticas de gestión de recursos.

Económicos: en el cantón la Maná la productividad del café se ve potenciada por sus condiciones clima este estudio permite generar un valor agregado real al grano ya que permite certificar científicamente las propiedades benéficas del producto esto facilita el acceso a nichos de mercados especializados, incrementando el valor comercial por la libra y mejorando directamente los ingresos de las familias y microempresas dedicadas al procesamiento en la zona.

13. PRESUPUESTO

El presupuesto establecido para la investigación se presenta en la tabla detalladamente como costo directos e indirectos.

Tabla 33: Presupuestos para la Investigación

Descripción	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total
Costo Directo			
Cosecha	1	10	10
Selección y remojo	1	8	8
Despulpado	1	8	8
Fermentado	1	7,5	7,5
Secado	1	7	7
Descascarillado	1	5	5
Tostado	1	8	8
Molienda	1	9	9
Almacenamiento	1	7	7
Sub Total			69,5
Insumos			
Materia prima (café)	1	142,5	142,5
Etiqueta y Empaque	1	0,57	0,57
Sub Total			212,57
Costos indirectos			
Reactivo Químicos			
Carbonato de sodio	1	35,81	35,81
Quercetina	1	20	20
Papel filtro	2	2,02	2,02
Folin-Ciocalteu	1	174,5	174,5
Nitrato de aluminio	1	18,5	1,5
Acetato de Potasio	1	34,5	34,5
Agua Destilada	1	4	4
Metanol	1	20	20
DPPH	1	35	35
Trox	1	270	270
Transporte y Movilización	1	40	40
Subtotal			654,33
TOTAL, DE COSTOS			866,9

Elaborado Por: Vargas & Villalva (2026).

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1 CONCLUSIONES

En relación con el contenido de polifenoles, se concluye que los testigos verdes como el Conilon con un contenido de polifenoles de T04 (18.106 mg GAE/g), fueron los que presentaron las concentraciones más elevadas, seguidos por los tratamientos T1(6.54 mg GAE/g) Conilon, T4(6.96 mg GAE/g) Napo, T7 (7.213 mg GAE/g) Ecu y T10 (7.08 mg GAE/g) Mix, que corresponden a los grados de tueste más claros. A medida que el tostado se hace más intenso, se observa una disminución progresiva de los polifenoles, lo que indica que los tuestes suaves

favorecen la conservación de estos compuestos. Esto demuestra que el ajuste del grado de tostado es un factor clave para preservar el contenido de polifenoles en el café.

En el caso de los flavonoides, el comportamiento fue similar al de los polifenoles los granos sin tostar (testigos verdes) registraron los valores más altos T07 (39.806 mg/QE/g) Mix, mientras que, entre los cafés tostados, los tratamientos T1(0.538 mg/QE/g) Conilon, T4(0.703 mg/QE/g) Napo, T7(0.582 mg/QE/g) Ecu y T10 (0.563 mg/QE/g) Mix con tuestes claros conservaron mayores niveles frente a los tuestes medios e intensos. Esto confirma que los flavonoides son especialmente sensibles al aumento del tiempo e intensidad de tostado y que los procesos de tueste suave permiten obtener cafés con un perfil más rico en estos metabolitos bioactivos.

La actividad antioxidante del café mostro que las varietales que menor contenido de antioxidante fue, los testigos comerciales con un valor más bajo, registrando el testigo T01 (0.311 $\mu\text{mol Trolox/g}$) oscuro, los tratamientos con más capacidad antioxidante fueron los tuestes claros T1 (42.53 $\mu\text{mol Trolox/g}$) Conilon, T4 (43.36 $\mu\text{mol Trolox/g}$) Napo, T7 (43.67 $\mu\text{mol Trolox/g}$) Ecu y T10 (43.886 $\mu\text{mol TE/g}$), mientras que los tuestes más intensos presentaron los valores más bajos. Por tanto, los resultados evidencian que los tuestes suaves no solo preservan polifenoles y flavonoides, sino que también potencian la capacidad antioxidante global del producto, reforzando su valor nutracéutico.

El análisis económico concluye que el proyecto de procesamiento de café robusta es financieramente rentable, ya que la comercialización de las fundas de 250g permitió generar ingresos totales de \$2.453,44, con una relación beneficio/costo de \$2.83 (>1). Esto implica que por cada dólar invertido se recupera el capital y se obtiene una ganancia neta de \$1,83, lo que evidencia una adecuada valorización de las variedades procesadas y una aceptación favorable del producto, tanto en su presentación de café verde como tostado. Resultados similares se reportan en otros estudios de negocios cafetaleros, donde valores de B/C superiores a 1 se asocian con proyectos económicamente viables, atractivos para la inversión y generadores de valor agregado a lo largo de la cadena productiva, reforzando así la solidez y competitividad del presente proyecto.

RECOMENDACIONES

- Muchos estudios muestran que el café verde y los tuestes claros presentan mayor contenido de polifenoles y, con frecuencia, mayor capacidad antioxidante que los tuestes más intensos. En nuestro caso, esto se confirma: el tratamiento testigo (verde) y el tueste claro fueron los de mayor contenido fenólico y actividad antioxidante.
- La mayoría de los trabajos reporta que al aumentar el grado de tueste (medio–oscuro) se degradan los ácidos clorogénicos y disminuye la actividad antioxidante, pese a formarse otros compuestos de Maillard. Por ello, los datos apoyan recomendar no usar tuestes muy oscuros cuando el interés principal es conservar estos compuestos fenoles y antioxidantes.

15. BIBLIOGRAFÍA

- Alnsour, L., Issa, R., Awwad, S., Albals, D., & Al-Momani, I. (2022). Quantification Of Total Phenols and Antioxidants in Coffee Samples of Different Origins and Evaluation of the Effect of Degree of Roasting on Their Levels. *Molecules*, 27(5), 1591. <https://doi.org/10.3390/Molecules27051591>
- Acidri, R., Sawai, Y., Sugimoto, Y., Handa, T., Sasagawa, D., Masunaga, T., Yamamoto, S., & Nishihara, E. (2020). Phytochemical Profile and Antioxidant Capacity Of Coffee Plant Organs Compared to Green and Roasted Coffee Beans. *Antioxidants*, 9(2), 93. <https://doi.org/10.3390/Antiox9020093>.
- Anh-Dao, L., N.-D. L., C.-H. N., & T.-N. N. (2021). Variability Of Total Polyphenol Contents in Ground Coffee Products and Their Antioxidant Capacities Through Different Reaction Mechanisms. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12(4), 4857–4870. <https://doi.org/10.33263/Briac124.48574870>
- Barbosa, L. O. S., Aguilar, C., & Maciel, L. (2021). A Participación De Minas Gerais E Do Brasil Na Cadeia Produtiva Global Do Café. *Economía & Região*, 9(1), 147. <https://doi.org/10.5433/2317-627x.2021v9n1p147>
- Barrios Calderón, R. D. J., Gordillo Díaz, E. A., Morales, P. M., & Santos, A. I. B. (2023). Ensamble Arbóreo Asociado A Un Sistema Agroforestal De Coffea Arabica L. En Siltepec, Chiapas, México. *Tropical And Subtropical Agroecosystems*, 26(3). <https://doi.org/10.56369/Tsaes.4724>
- Bobková, A., Hudáček, M., Jakobová, S., Belej, Ľ., Capcarová, M., Čurlej, J., Bobko, M., Árvay, J., Jakab, I., Čapla, J., & Demianová, A. (2020). The Effect of Roasting on the Total Polyphenols and Antioxidant Activity of Coffee. *Journal Of Environmental Science and Health, Part B*, 55(5), 495–500. <https://doi.org/10.1080/03601234.2020.1724660>
- Casillas Vega, A. B., Carrillo Candilejo, E. A., Casco Toapanta, M. G., & Gavilánez Buñay, T. C. (2024). Efecto Del Tostado En La Calidad Sensorial De Tres Variedades De Café (Coffea Canephora) Provenientes Del Centro Experimental Sacha Wiwa. *Código Científico Revista De Investigación*, 5(2), 783–804. <https://doi.org/10.55813/Gaea/Ccri/V5/N2/583>
- Cao Thi, T.-X. (2025). Cost-benefit analysis: *Utilizing mathematics to OptimizeE Economic Project decisions*. *HPU2 Journal of Science: Natural Sciences and Technology*, 4(01), 48–59. <https://doi.org/10.56764/hpu2.jos.2025.4.01.48-59>

- Celi Sabando, K. D., Chamorro Portilla, M. C., Ballesteros Jerez, J. G., & Barrigas Revelo, D. A. (2024). Beneficios De La Fermentación De Cacao (Theobroma Cacao) En La Industria Alimentaria. *Tierra Infinita*, 10(1), 131–142. <https://doi.org/10.32645/26028131.1310>
- Coa Urbaez, M., Silva-Acuña, R., Méndez Natera, J. R., & Mundarain Padilla, S. (2015). Fenología De La Floración Del Cafeto Var. Catuaí Rojo En El Municipio Caripe Del Estado Monagas, Venezuela. *Idesia (Arica)*, 33(1), 59–67. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292015000100007>
- Costa Jorge, O. L. de U. (1993). Los Flavonoides como Compuesto Biológicamente activos. *Revista de Química*, VII.
- Cuenca Yamilet, R. T: (2022). Evaluación Del Contenido Fenólico Y Actividad Antioxidante De Cinco Variedades De La Especie Coffea Arabica. *Polifenoles*, 1–55.
- Chuná Jefferson. (2018). Evaluación De Los Parámetros Tiempo, Temperatura Y Variedad De Café Arábica Coffea Arábica Castillo Y Típica En El Proceso De Tostado. Tesis Planteada Para La Obtención Del Título De Ingeniero Agroindustrial.
- Cruzalegui, R. J., Güivin, O., Fernández-Jeri, A. B., & Cruz, R. (2021). Caracterización De Compuestos Fenólicos Y Actividad Antioxidante De Pulpa De Café (Coffea Arabica L.) Deshidratada De Tres Fincas Cafeteras De La Región Amazonas (Perú). *Información Tecnológica*, 32(5), 157–166. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000500157>
- Davis, A. P., Gargiulo, R., Almeida, I. N. Das M., Caravela, M. I., Denison, C., & Moat, J. (2021). Hot Coffee: The Identity, Climate Profiles, Agronomy, And Beverage Characteristics of Coffea Racemosa and C. Zanguebariae. *Frontiers In Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.740137>
- Díaz, F. O., Ormaza, A. M., & Rojano, B. A. (2018). Efecto De La Tostión Del Café (Coffea Arabica L. Var. Castillo) Sobre El Perfil De Taza, Contenido De Compuestos Antioxidantes Y La Actividad Antioxidante. *Información Tecnológica*, 29(4), 31–42. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000400031>
- Encalada-Córdova, M., Benavidez-Silva, C., Urgiles-Gómez, N., & Chamba-Caillagua, K. (2025). Sistemas Agroforestales Cafetaleros: Aproximaciones Para La Caracterización De Sombra Y Microclima En Loja, Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, 4ssgm196. <https://doi.org/10.15517/4ssgm196>

Ferreira, T., Shuler, J., Guimarães, R., & Farah, A. (2019). Chapter 1. Introduction To Coffee Plant and Genetics. En *Coffee* (Pp. 1–25). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781782622437-00001>

FAOSTAT – Ecuador. (2013). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). FAOSTAT.

Fudjaja, L., Viantika, N. M., Ridwan, M., Saad, A. R. R., & Riwu, M. (2023). Revenue Cost Ratio and Value-Added Household Industry Robusta Powder Coffee Company. *AGRIEKONOMIKA*, 12(1), 103–116. <https://doi.org/10.21107/agriekonomika.v12i1.16927>

García Martínez, F. S. F. L. (2018). Determinación de polifenoles totales por el método de FolinCiocalteu. *ETSIAMN. Universitat Politècnica de València*.

Giacalone, D., Degn, T. K., Yang, N., Liu, C., Fisk, I., & Münchow, M. (2019). Common Roasting Defects in Coffee: Aroma Composition, Sensory Characterization and Consumer Perception. *Food Quality and Preference*, 71, 463–474. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.03.009>

González, A. F. R., García, G. A. G., Polanía-Hincapié, P. A., López, L. J., & Suárez, J. C. (2024). Fermentation And Its Effect on The Physicochemical and Sensory Attributes of Cocoa Beans in the Colombian Amazon. *Plos One*, 19(10), E0306680. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306680>

Gunawitra, P. Y., Ustriyana, I. N. G., & Budiasa, I. W. (2024). Coffee Processing Business Feasibility in BUMDes Eka Giri Karya Utama Wanagiri Village, Buleleng Regency Bali Province. *JURNAL MANAJEMEN AGRIBISNIS (Journal of Agribusiness Management)*, 12(1), 001. <https://doi.org/10.24843/10.24843/JMA.2024.v12.i01.p01>

Gualavisi Ulcuango Marco Gustavo (2023). “Evaluación Y Propuesta De Mejora A La Productividad Del Proceso De Obtención Del Café Tostado Y Molido En La Planta De Producción De La Red De Integración Económica De Caficultores Del Carchi. Trabajo De Titulación Previo A La Obtención Del Título De Ingeniería Agroindustrial. Línea De Investigación: Producción Industrial Y Tecnología Sostenible.

INAMHI. (2026). Análisis climatológicos para regiones. <https://www.gob.ec/inamhi>

Herawati, D., Giriwono, P. E., Dewi, F. N. A., Kashiwagi, T., & Andarwulan, N. (2019). Three Major Compounds Showing Significant Antioxidative, A-Glucosidase Inhibition, And

Antiglycation Activities in Robusta Coffee Brew. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 994–1010. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1622562>

Haile, M., & Kang, W. H. (2019). The Role of Microbes in Coffee Fermentation and Their Impact on Coffee Quality. *Journal Of Food Quality*, 2019, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2019/4836709>

Hurtado Talavera, F. J. (2020). Fundamentos Metodológicos De La Investigación: El Génesis Del Nuevo Conocimiento. *Revista Scientific*, 5(16), 99–119. <https://doi.org/10.29394/Scientific.Issn.2542-2987.2020.5.16.5.99-119>

Instituto Nacional Autónomo De Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (1993). *Manual Del Cultivo Del Café* (I. Sotomayor Herrera, Ed.). Estación Experimental Tropical Pichilingue. Cooperación Técnica De La República Federal De Alemania (Gtz) & Fundagro.

Jeszka-Skowron, M., Zgoła-Grześkowiak, A., & Grześkowiak, T. (2015). Analytical Methods Applied for the Characterization and The Determination of Bioactive Compounds in Coffee. *European Food Research and Technology*, 240(1), 19–31. <https://doi.org/10.1007/S00217-014-2356-Z>

Jung, S., Gu, S., Lee, S.-H., & Jeong, Y. (2021). Effect Of Roasting Degree on The Antioxidant Properties of Espresso and Drip Coffee Extracted from *Coffea Arabica* Cv. Java. *Applied Sciences*, 11(15), 7025. <https://doi.org/10.3390/App11157025>

Katz, D. S., Chue Hong, N. P., Clark, T., Muench, A., Stall, S., Bouquin, D., Cannon, M., Edmunds, S., Faez, T., Feeney, P., Fenner, M., Friedman, M., Grenier, G., Harrison, M., Heber, J., Leary, A., MacCallum, C., Murray, H., Pastrana, E., ... Yeston, J. (2021). Recognizing the value of software: a software citation guide. *F1000Research*, 9, 1257. <https://doi.org/10.12688/f1000research.26932.2>

Kucukkomur, S., & Ozgen, L. (2009). Coffee And Turkish Coffee Culture. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(10), 1693–1700. <https://doi.org/10.3923/Pjn.2009.1693.1700>

Liczbiński, P., & Bukowska, B. (2022). Tea And Coffee Polyphenols and Their Biological Properties Based on The Latest In Vitro Investigations. *Industrial Crops And Products*, 175, 114265. <https://doi.org/10.1016/J.Indcrop.2021.114265>

- Lisboa, L. A. M., Cunha, M. L. O., Nakayama, F. T., Figueiredo, P. A. M. De, Viana, R. Da S., Ramos, S. B., & Ferrari, S. (2021). Morphophysiological Characteristics of Arabica Coffee. *Nativa*, 9(1), 36–43. <https://doi.org/10.31413/Nativa.V9i1.11066>
- Macias, S. C. M. (2018). Analisis De Los Costos De Producción Y Rentabilidad Del Cultivo De Café (Coffea Spp) En La Region Amazonica Del Ecuador. *International Journal of Social Science and Economics Invention*, 4(01). <https://doi.org/10.23958/Ijssei/Vol04-I01/01>
- Mahalingam, S., & Zaidi, S. H. (2024). Comparison Of Total Flavonoid Content and Dpph Sequestration in Arabica, Robusta, And Liberica Coffee Beans. *Journal Of Emerging Investigators*. <https://doi.org/10.59720/23-270>
- Mehari, B., Chandravanshi, B. S., Redi-Abshiro, M., Combrinck, S., Mccrindle, R., & Atlabachew, M. (2021). Polyphenol Contents of Green Coffee Beans from Different Regions of Ethiopia. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 17–27. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1858866>
- Merino, Á. (2024). El orden mundial. *El Orden Mundial*.
- Méndez Santistevan, M., Julca Otiniano, A., Borjas Ventura, R., & Tuesta Hidalgo, O. (2014). Caracterización De Fincas Cafetaleras En La Localidad De Jipijapa (Manabí, Ecuador). *Ecología Aplicada*, 13(1–2), 187. <https://doi.org/10.21704/Rea.V13i1-2.46>
- Mestanza, M., Mori-Culqui, P. L., & Chavez, S. G. (2023). Changes Of Polyphenols and Antioxidants of Arabica Coffee Varieties During Roasting. *Frontiers In Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/Fnut.2023.1078701>
- Mihai, R. A., Ortiz-Pillajo, D. C., Iturralde-Proaño, K. M., Vinueza-Pullotasig, M. Y., Sisa-Tolagasí, L. A., Villares-Ledesma, M. L., Melo-Heras, E. J., Cubi-Insuaste, N. S., & Catana, R. D. (2024a). Comprehensive Assessment of Coffee Varieties (Coffea Arabica L.; Coffea Canephora L.) From Coastal, Andean, And Amazonian Regions of Ecuador; A Holistic Evaluation of Metabolism, Antioxidant Capacity and Sensory Attributes. *Horticulturae*, 10(3), 200. <https://doi.org/10.3390/Horticulturae10030200>
- Ministerio De Agricultura Y Ganadería. (2025). *Voletín De Precios Al Productor Nacional. Sistema De Información Pública Agropecuaria (Sipa)*.
- Moreira Angulo, O. J., Luna Murillo, R. A., Espinoza coronel, A. L., & Chuquitarco Esmeraldas, V. A. (2025). Producción De Variedades Y Clones De Café (Coffea Canephora)

En Condiciones Subtropicales De Guasaganda – Ecuador. *Ciencia Y Tecnología*, 18(2), 14–21. <https://doi.org/10.18779/Cyt.V18i2.1032>

Moratto Silva, J., Yasbeck Oliveira, I., Maris Ribeiro Muller, N., Rinco, N. M., Lemes Zia, L., & Borges De Lima Dutra, M. (2020). Sensory And Physicochemical Evaluation of Traditional Powder Coffee. *Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng*, 28, 202–210. <https://doi.org/10.13083/Reveng.V28i.8581>

Ngibad, K., Yusmiati, S. N. H., Merlina, D. M., Rini, Y. P., Valenata, V., & Jannah, E. F. (2023). Comparison Of Total Flavonoid, Phenolic Levels, And Antioxidant Activity Between Robusta and Arabica Coffee. *Kovalen: Jurnal Riset Kimia*, 9(3), 241–249. <https://doi.org/10.22487/Kovalen.2023.V9.I3.16506>

Pacheco-Coello, F., Torres, R., Arvelo, T., & Velasquez, I. (2020). Variación De La Actividad Antioxidante Por Efecto Del Tostado En Granos De Café (*Coffea Arabica*), Estado Miranda, Venezuela. *Ciencia, Ambiente Y Clima*, 3(2), 49–56. <https://doi.org/10.22206/Cac.2020.V3i2.Pp49-56>

Pérez-Hernández, (2013). Compuestos Fenólicos, Melanoidinas Y Actividad Antioxidante De Café Verde Y Procesado De Las Especies *Coffea Arabica* Y *Coffea Canephora*. *Universidad De Sonora*, 15, 51–56.

Portillo, O. R. (2022). El Procesamiento Del Grano De Café. Del Tueste A La Infusión. *Bionatura*, 7(3), 1–23. <https://doi.org/10.21931/Rb/2022.07.03.18>

Puerta Quinter Gloria Inés. (2010). *Fundamentos Del Proceso De Fermentación En El Beneficio Del Café*. Fondo Nacional Del Café.

Quintero Gloria (2013). *Calidad de Café. Manual Del Cafetero Colombiano: Investigacion y Tecnologia Para Sostenibilidad Para La Caficultura*.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3).

Ribeiro, R. C., Mota, M. F. S., Silva, R. M. V., Silva, D. C., Novaes, F. J. M., Da Veiga, V. F., Bizzo, H. R., Teixeira, R. S. S., & Rezende, C. M. (2024). Coffee Oil Extraction Methods: A Review. *Foods*, 13(16), 2601. <https://doi.org/10.3390/Foods13162601>

Samoggia, A., & Fantini, A. (2023). Revealing The Governance Dynamics of The Coffee Chain in Colombia: A State-Of-The-Art Review. *Sustainability*, 15(18), 13646. <https://doi.org/10.3390/Su151813646>

Silva, Rosado, C. P., Ferreira, F. Dos S., Melengati, J., Terra, S., & Teodoro, A. J. (2024). The Effect of Brewing Method and Different Roasting Degree on Physicochemical Characteristics, Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Amazonian Robusta Coffee (*Coffea Canephora*). *Revista De Gestão Social E Ambiental*, 18(9), E06197. <https://doi.org/10.24857/Rgsa.V18n9-139>

Silvia Suárez Cunzaa, (2021). Actividad Antioxidante, Polifenoles Y Flavonoides De *Coffea Arabica* De Cinco Regiones Peruanas. *Fenoles Y Flavonoides*.

Suatunce Cunuhay, P., Díaz coronel, T. G., & García Cruzatty, L. (2009). Evaluación De Cuatro Especies Forestales Asociadas Con Café (*Coffea Arabica* L.) Y En Monocultivo En El Litoral Ecuatoriano. *Ciencia Y Tecnología*, 2(2), 29–34. <https://doi.org/10.18779/Cyt.V2i2.38>

Shirley Cortes Meza, (2019). Determinación De Antioxidante En Subproductos De Café Producido Y Comercializado En Risaralda (Colombia). *Antioxidante*.

Schouten, M. A., Tappi, S., Angeloni, S., Cortese, M., Caprioli, G., Vittori, S., & Romani, S. (2021). Acrylamide Formation and Antioxidant Activity in Coffee During Roasting – A Systematic Study. *Food Chemistry*, 343, 128514. <https://doi.org/10.1016/J.Foodchem.2020.128514>

Shi, Q., Xiao, Y., Zhou, Y., Tang, W., Jiang, F., Zhou, X., & Lu, H. (2024). Comparison Of Ultra-High-Pressure and Conventional Cold Brew Coffee at Different Roasting Degrees: Physicochemical Characteristics and Volatile and Non-Volatile Components. *Foods*, 13(19), 3119. <https://doi.org/10.3390/Foods13193119>

Vega Aracelly, (2016). Determinación Del Contenido De Polifenoles Totales, Flavonoides Y Actividad Antioxidante De 34 Cafés Comerciales De Panamá. *Polifenoles Totales*, 28. <https://doi.org/10.22206/Cac.2020.V3i2.Pp49-56>

Vega, A., De León, J. A., & Reyes, S. M. (2017). Determinación Del Contenido De Polifenoles Totales, Flavonoides Y Actividad Antioxidante De 34 Cafés Comerciales De Panamá. *Información Tecnológica*, 28(4), 29–38. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400005>

- Vignoli, J. A., Viegas, M. C., Bassoli, D. G., & Benassi, M. De T. (2014). Roasting Process Affects Differently the Bioactive Compounds and The Antioxidant Activity of Arabica and Robusta Coffees. *Food Research International*, 61, 279–285. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.006>
- Vargas Cajamarca, M. J., Quezada Campoverde, J. M., García Batista, R. M., & Carvajal Romero, H. (2021). Análisis de mercado para el procesamiento y comercialización de café tostado y molido, cantón Marcabellí. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(2), 99–106. <https://doi.org/10.62452/r2gkye17>
- Wongsa, P., Khampa, N., Horadee, S., Chaiwarith, J., & Rattanapanone, N. (2019). Quality And Bioactive Compounds of Blends of Arabica and Robusta Spray-Dried Coffee. *Food Chemistry*, 283, 579–587. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.088>
- Wu, H., Lu, P., Liu, Z., Sharifi-Rad, J., & Suleria, H. A. R. (2022). Impact Of Roasting on the Phenolic and Volatile Compounds in Coffee Beans. *Food Science & Nutrition*, 10(7), 2408–2425. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2849>
- Yeager, S. E., Batali, M. E., Guinard, J.-X., & Ristenpart, W. D. (2023). Acids In Coffee: A Review of Sensory Measurements and Meta-Analysis of Chemical Composition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(8), 1010–1036. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1957767>
- Zhang, S. J., De Bruyn, F., Pothakos, V., Contreras, G. F., Cai, Z., Moccand, C., Weckx, S., & De Vuyst, L. (2019). Influence Of Various Processing Parameters on The Microbial Community Dynamics, Metabolomic Profiles, And Cup Quality During Wet Coffee Processing. *Frontiers In Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02621>